

CONDENSATEURS

I CARACTERISTIQUES D'UN CONDENSATEUR

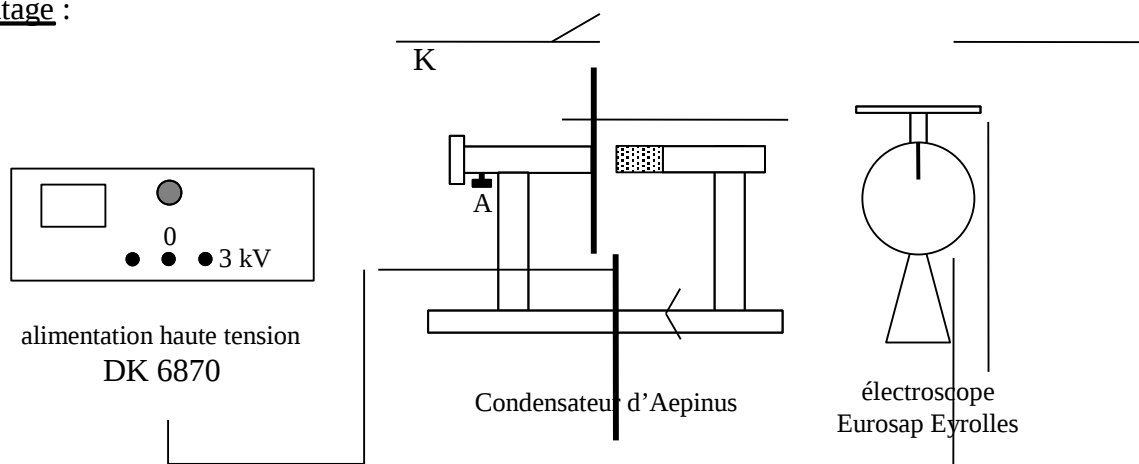
1.1 Mise en évidence de la condensation de l'électricité

Biblio : Quaranta III p. 116-117

Fleury Mathieu : Electrostatique p. 82.

La manipulation présentée ici est l'expérience historique d'Aepinius. Etant donné la tension mise en œuvre, manipulez avec précautions !

Montage :



K : interrupteur → prendre un interrupteur de chez électrome (boîte noire et blanche). Ne surtout pas prendre un interrupteur avec des contacts à l'air libre.

Ajustez le déplacement du plateau mobile du condensateur de façon à ne pas pouvoir descendre en dessous d'une épaisseur de 1 mm (utilisez la molette A).

Reliez le plateau + du condensateur à l'électroscope via une pince crocodile.

Respectez le code des couleurs lors des connexions (prendre des fils courts) ; connectez la sortie + de l'alimentation sur le plateau isolé !

La capacité mise en œuvre étant très faible, la moindre fuite diélectrique risque de la décharger → placez un radiateur soufflant derrière le condensateur d'Aepinus pour assécher l'air.

Manipulation :

Réglez pour commencer l'épaisseur du condensateur à 7 mm.

Fermez l'interrupteur K ; allumez l'alimentation haute tension ; réglez la tension à 2 kV → les deux feuilles de l'électroscope doivent s'écarter. Ouvrir alors l'interrupteur K : les feuilles de l'électroscope doivent rester écartées.

Une fois le plateau + chargé, rapprochez le plateau mobile → les deux feuilles de l'électroscope doivent se rapprocher.

Analyse :

Dans la première partie de la manipulation, on charge le plateau + du condensateur ainsi que les deux feuilles de l'électroscope. Celles-ci s'écartent puisqu'elles possèdent les mêmes charges.

L'ouverture de l'interrupteur K permet ensuite d'isoler électriquement le système. La suite de la manipulation s'effectue donc à charge Q constante.

Lorsqu'on approche alors le plateau mobile, les feuilles de l'électroscope se rapprochent → le potentiel entre ces deux feuilles diminue.

→ les charges se sont donc «condensées» sur le plateau +.

Remarques :

Dans cette expérience, le conducteur isolé formé par C_1 et les feuilles de l'électroscope, à une charge Q constante. Si son potentiel diminue lorsque l'on approche C_2 , c'est que sa capacité à accumuler des charges augmente. On peut donc introduire avec cette expérience le concept de capacité et la relation $Q = C.V$.

Manipulation complémentaire :

Le fait que le potentiel diminue (augmente) lorsque l'on approche (éloigne) le plateau C_2 laisse à penser que la capacité varie en inverse de l'épaisseur e . On peut le vérifier en mesurant la capacité du condensateur d'Aepinus pour différentes valeurs de e (utilisez un pont RLC ou un multimètre ayant un calibre suffisamment petit → à Rennes, prendre le Velleman DVM 98). Donnez alors l'expression de la capacité d'un condensateur plan.

Valeurs théoriques de la capacité du condensateur d'Aepinus.

d (mm)	C_{th} (pF)	$C_R + C_K$ (pF)
1	463	21.5
2	231.5	20
3	154.3	19
4	115.7	18.5
5	92.6	18
6	77	18
8	57.8	17
10	46.3	16.5
20	23.1	15
40	11.5	14

1.2 Influence du diélectrique

1.2.1 Mise en évidence

Même montage que précédemment.

On dispose de deux types de plaques (une en plastique, une autre en carton) pouvant s'insérer dans le condensateur d'Aepinus. Réglez dans un premier temps l'écartement des plateaux du condensateur de façon à ce que l'une de ces plaques s'insère au plus juste dans le condensateur. Une fois ce réglage effectué, enlevez la plaque.

Rechargez le condensateur comme précédemment et isolez-le de nouveau ; les feuilles de l'électroscope étant écartées, insérez la plaque → les feuilles de l'électroscope doivent se rapprocher.

→ V diminue
comme $Q = cte$ } → C augmente

1.2.2 Mesures

Mesurez au RLC mètre ou au capacimètre la capacité du condensateur d'Aepinus avec (C') et sans la plaque (C). Commencez par la mesure de C' en ajustant au minimum l'écartement des plateaux du condensateur (le diélectrique doit remplir tout l'espace !). Enlevez ensuite la plaque sans modifier l'écartement !

Conclusion :

L'ajout d'un diélectrique augmente la capacité. Des mesures, on peut en déduire la constante diélectrique des deux matériaux :

$$\epsilon_r = \frac{C'}{C}$$

On peut consulter le Handbook à la page E-66 pour savoir si les ordres de grandeur (la nature exacte des matériaux n'étant pas connue) sont corrects.

1.2.3 Autre manip possible

Quaranta IV p. 121

Une autre variante consiste à utiliser un condensateur d'accord à lames (tel qu'on en trouvait dans les anciens récepteurs radio). Par rapport au condensateur d'Aepinus, cette méthode présente l'avantage d'avoir une capacité plus grande à mesurer avec un encombrement réduit.

Manipulation :

Utilisez la capacité d'accord servant à la détection d'une modulation d'amplitude. Mesurez la capacité du condensateur dans l'air au RLC mètre ou avec le Velleman DVM 98 (≈ 800 nF au maximum). Refaire la même mesure en plongeant le condensateur dans un liquide isolant tel que le pétrole ou mieux l'acétone dont la polarisabilité est plus grande.

Remarque :

On pourrait être tenté d'en déduire la constante diélectrique du liquide. On trouve en général des valeurs nettement supérieures à celles attendues. Cela est dû à l'influence très importante des impuretés sur la valeur de cette constante.

1.3 Energie stockée dans un condensateur

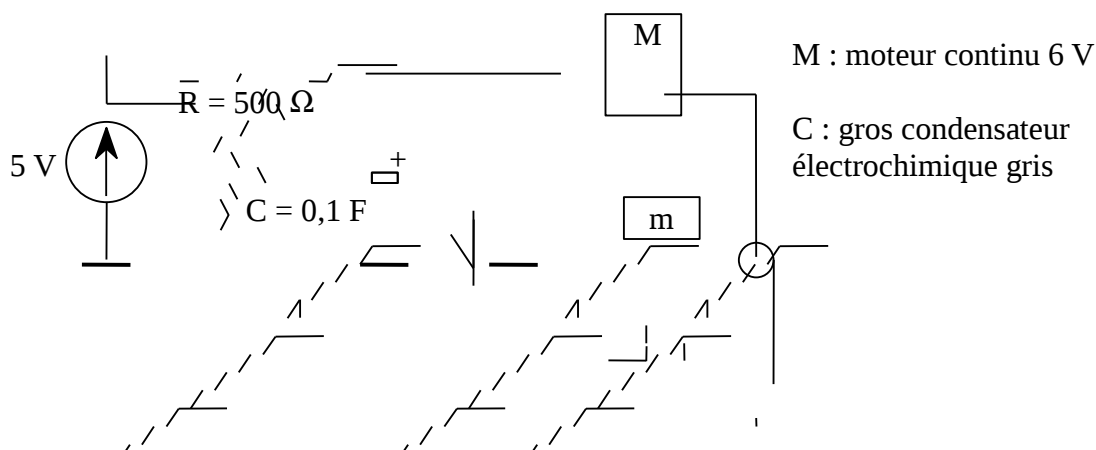
Un condensateur chargé sous la

tension U emmagasine une énergie valant $\frac{1}{2} CV^2$. On peut soit mettre en évidence qualitativement cette énergie, soit la mesurer (on conseille plutôt cette dernière solution).

1.3.1 Mise en évidence

Quaranta IV p. 118

Montage :



Commencez par charger le condensateur (cela prend pas mal de temps vu la valeur de la capacité !). Ne pas oublier la résistance de protection et respecter la polarité du condensateur ! Le relai ensuite au moteur → la masse m doit remonter.

Remarque :

On pourrait être tenté de retrouver la valeur de l'énergie stockée dans la capacité en s'aidant de la relation de conservation de l'énergie (h correspond à la hauteur d'ascension de la masse m) : $mgh \approx CV^2/2$. Comme le rendement du moteur est inférieur à 1, on a en fait (A étant l'énergie dissipée) :

$$\frac{1}{2} CV^2 = mgh - A$$

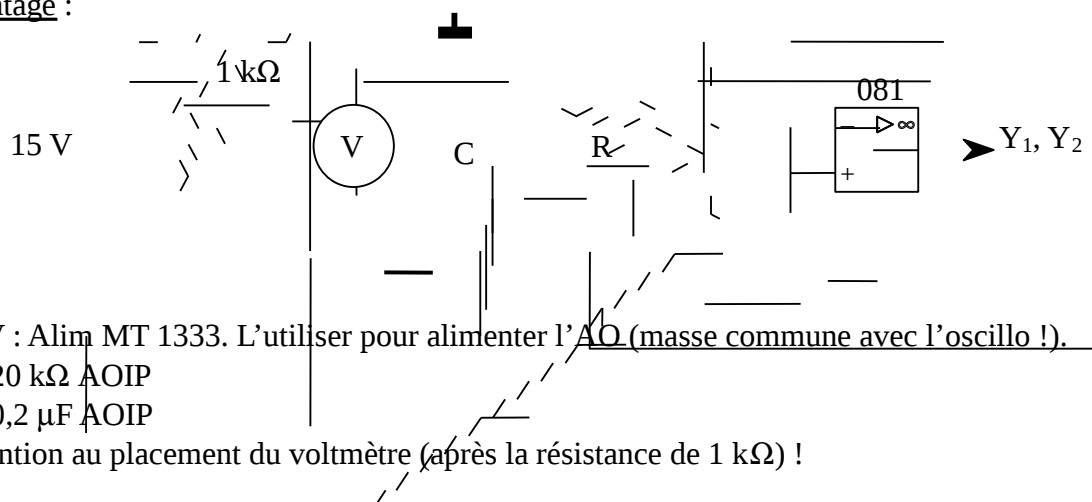
Pour vérifier la loi, on pourrait mesurer h pour différentes masses. Si on suppose que l'énergie dissipée A est la même à chaque fois, on obtiendrait une droite pour la relation $h = f(m)$. L'expérience montre que ce n'est pas le cas → l'expérience ne peut être que qualitative.

1.3.2 Mesure

On met à profit les possibilités de calcul de l'oscilloscope HP 54603B. Cette manipulation peut aussi servir à mesurer l'énergie stockée dans une self (cf. montage M 17 "Induction, Auto-induction"). Elle peut aussi être présentée dans le montage M 31 (Acquisition et traitement du signal).

L'idée est de dissiper dans une résistance l'énergie $CV^2/2$ stockée par un condensateur en régime permanent. La puissance dissipée dans la résistance valant RI^2 , il suffit de mesurer l'évolution de la tension à ses bornes, de la multiplier par elle-même puis de l'intégrer pour obtenir à une constante près l'énergie dissipée. Ces deux dernières opérations seront effectuées par l'oscillo.

Montage :



Prendre un interrupteur de bonne qualité pour minimiser les transitoires parasites lors de son ouverture (la constante de temps du circuit a été choisi pour minimiser ce problème). Le suiveur à AO 081 permet d'isoler le montage de l'oscilloscope grâce à sa forte impédance d'entrée. Sans le suiveur, la mesure du courant I serait en effet faussée car une petite partie du courant de décharge serait alors évacuée dans l'oscillo (les deux entrées de l'oscillo étant en parallèle, la résistance globale d'entrée est alors de 500 kΩ, à comparer à 20 kΩ). Vous

pouvez faire la manip avec et sans suiveur ; la mesure avec le suiveur doit mieux recouper la valeur de l'énergie emmagasinée.

Interrupteur fermé :

Mesurez la tension V aux bornes du condensateur \Rightarrow l'énergie emmagasinée vaut $E_{\text{stockée}} = CV^2/2$.

Interrupteur ouvert :

Enregistrez sur les voies 1 et 2 de l'oscilloscope HP 54603B le régime transitoire correspondant à la décharge du condensateur dans la résistance R.

STORAGE \rightarrow Auto-store

TRIGGER \rightarrow Mode \rightarrow Single (ajustez le level pour contrôler le déclenchement)
 \rightarrow Slope \rightarrow \downarrow

Y₁ Y₂ \rightarrow 5 V/div 2 ms/div

HORIZONTAL \rightarrow Main/Delayed \rightarrow Time Ref \rightarrow Left

Avant chaque nouvelle acquisition, réinitialisez la fonction Storage (Erase puis Auto-store). Une fois que le transitoire est correctement enregistré, passez aux opérations mathématiques.

Opération Y₁×Y₂ :

Dans le menu des opérateurs mathématiques (touche \pm), activez la fonction F₁ et sélectionnez l'opération multiplication $\Rightarrow F_1 = Y_1 \times Y_2$. Ajustez les paramètres de cette fonction pour obtenir un enregistrement correct (faire plusieurs essais). Une sensibilité de 50 V²/div et un offset de 137,5 V² donnent de bons résultats.

Intégration du produit :

Activez cette fois-ci dans le menu des opérateurs mathématiques la fonction F₂ et sélectionnez l'opération intégration : Operand \rightarrow F₁ : l'oscillo intègre $F_1 \Rightarrow F_2 = \int F_1 \cdot dt$

Ajustez les paramètres de cette fonction pour obtenir un bon enregistrement ; une sensibilité de 100 mV.s et un offset de 300 mV.s donnent de bons résultats.

Mesure :

Utilisez les curseurs de l'oscilloscope pour mesurer sur la courbe F₂ la déviation entre l'instant correspondant à l'ouverture de l'interrupteur et le moment où F₂ atteint une valeur constante.

Exploitation :

On mesure en Y₁ et Y₂ la tension Ri(t) $\Rightarrow F_2 = R^2 \int i^2(t) \cdot dt$

Or, l'énergie dissipée dans la résistance vaut $R \int i^2(t) \cdot dt \rightarrow$ pour la calculer, il suffit de faire $E_{\text{dissipée}} = F_2 / R$. L'énergie devant se conserver, on doit avoir $E_{\text{stockée}} = E_{\text{dissipée}}$

Soit $\boxed{\frac{1}{2} \frac{F_2}{R} = CV^2}$

II MESURE DES CAPACITES

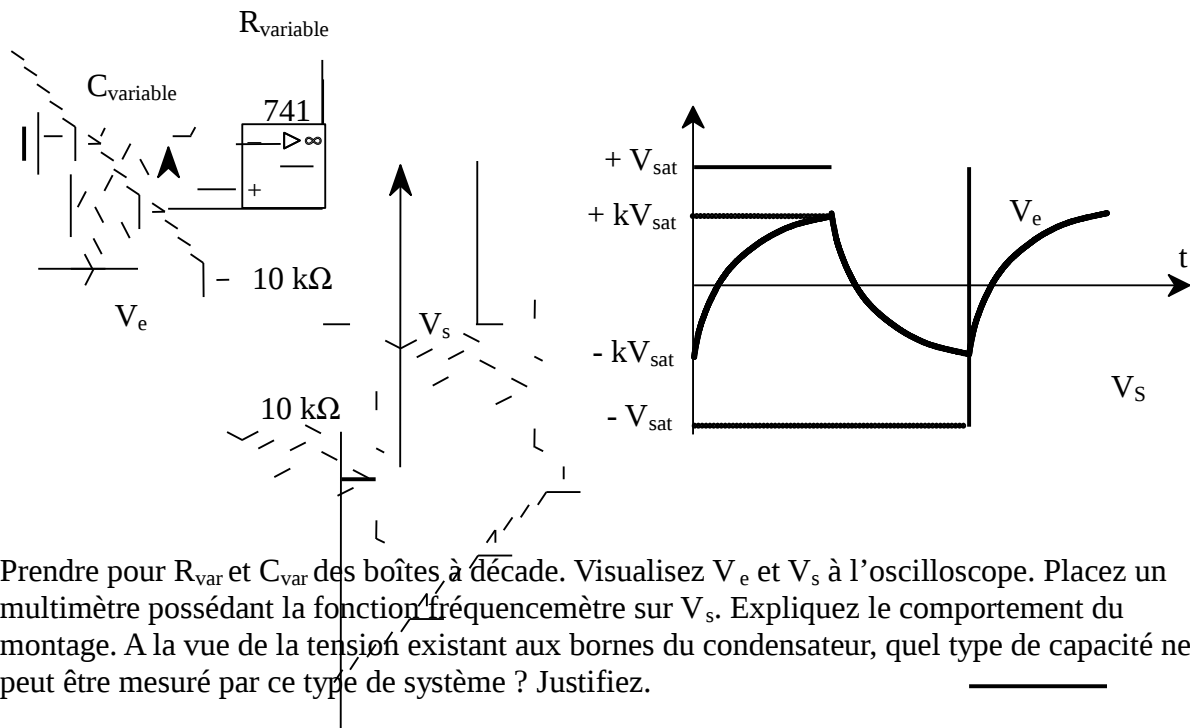
La liste des méthodes qui est proposée n'est pas exhaustive ; de nombreuses autres possibilités existent (cf. Quaranta tome III et IV). On en présente plusieurs mais il faut faire un choix (le but du montage n'est pas exclusivement la mesure de capacité). On conseille les deux premières méthodes car elles illustrent des principes de base utilisés pour la réalisation de la fonction capacimètre dans les multimètres actuels (la seconde méthode présente l'avantage supplémentaire de permettre la mesure de capacités électrochimiques).

2.1 Par la mesure de la période d'un oscillateur

On réalise un oscillateur de relaxation dont la période dépend de la valeur de la capacité (en effet, dans les multimètres usuels, toute mesure se ramène en bout de chaîne à celle d'un temps).

Montage :

Quaranta IV p. 126



Prendre pour R_{var} et C_{var} des boîtes à décades. Visualisez V_e et V_s à l'oscilloscope. Placez un multimètre possédant la fonction fréquencemètre sur V_s . Expliquez le comportement du montage. A la vue de la tension existant aux bornes du condensateur, quel type de capacité ne peut être mesuré par ce type de système ? Justifiez.

$R = 5000\ \Omega$ $C = 1\ \mu\text{F}$:

Mesurez la période de V_s avec le fréquencemètre. En déduire la valeur de C par la relation :

$$T = \frac{2RC \ln 3}{\ln 3} \quad \text{démonstration} \rightarrow \text{cf. annexe}$$

Calculez l'incertitude sur ce résultat. Comparez à une mesure effectuée au RLC mètre ELC 3131D ou au capacimètre.

$R = 5000\ \Omega$ $C = 0.04\ \mu\text{F}$:

Comparez de nouveau la valeur mesurée à la valeur calculée. Est-ce que les deux résultats sont en accord compte tenu du calcul d'incertitude ? D'où vient selon vous cette différence (si elle ne vous semble pas suffisante, diminuez encore un peu la capacité) ?

Mesure du slew-rate de l'A.O. :

A faire en TP mais pas en montage

Ajustez la valeur de la capacité de façon à avoir un signal de fréquence ≈ 10 kHz. Mesurez l'excursion en tension de $V_S (\approx 2U_{\text{alim}})$ à l'oscilloscope ainsi que le temps de passage d'un état de saturation à l'autre. Calculez le slew-rate et comparez à la donnée constructeur.

En haute fréquence, ce phénomène invalide le calcul théorique de la période puisqu'on ne peut plus considérer que la charge du condensateur s'effectue à tension constante lors du changement d'état en sortie. On s'en rend compte sur l'évolution de la tension aux bornes du condensateur : le passage d'une exponentielle à l'autre n'est plus aussi tranché.

Amélioration des performances :

On peut prendre un A.O. plus performant. Reprendre le montage précédent avec les mêmes valeurs de composants. Remplacez le 741 par un 081. On doit avoir un meilleur accord entre la valeur mesurée et la valeur calculée. Justifiez à partir du slew-rate du 081.

On peut aussi diminuer la tension d'alimentation de l'AO ou modifier la valeur de R de façon à rester en dessous de la fréquence maximale d'utilisation de l'oscillateur. C'est le rôle des différents calibres sur les multimètres.

Mesure des faibles capacités :

Diminuez la capacité par décades, ajustez à chaque fois la valeur de R pour rester largement au-dessous de la fréquence maximale d'utilisation. Comparez la valeur mesurée à la valeur calculée. On doit avoir accord jusqu'à des valeurs de l'ordre du nanofarad. Au-dessous, avec un AO 741, les courants de polarisation de l'ampli op perturbent la mesure.

Mesure des fortes capacités :

Quand C augmente, T augmente aussi. Cela peut devenir gênant à partir d'un certain moment (temps de mesure long). On peut y remédier en diminuant cette fois-ci la résistance. Cela a pour inconvénient d'augmenter le courant de charge du condensateur. Il faut alors voir si on ne risque pas d'atteindre la saturation en courant de l'A.O. (pour le 741, $I_{S\text{max}} \approx 10$ mA) ! L'appel en courant est maximum au moment du basculement. A cet instant :

$$\left. \begin{array}{l} V_C = +- kV_{\text{SAT}} \\ V_S = -+ kV_{\text{SAT}} \end{array} \right\} \Rightarrow R_{\text{min}} = (1+k)V_{\text{SAT}} / I_{S\text{max}} \approx 2000 \Omega$$

Avec une telle valeur de résistance, on peut mesurer sans problème des capacités jusqu'à 10 μF ce qui correspond aux valeurs maximales des capacités courantes (au-delà, on a recourt aux condensateurs électrochimiques).

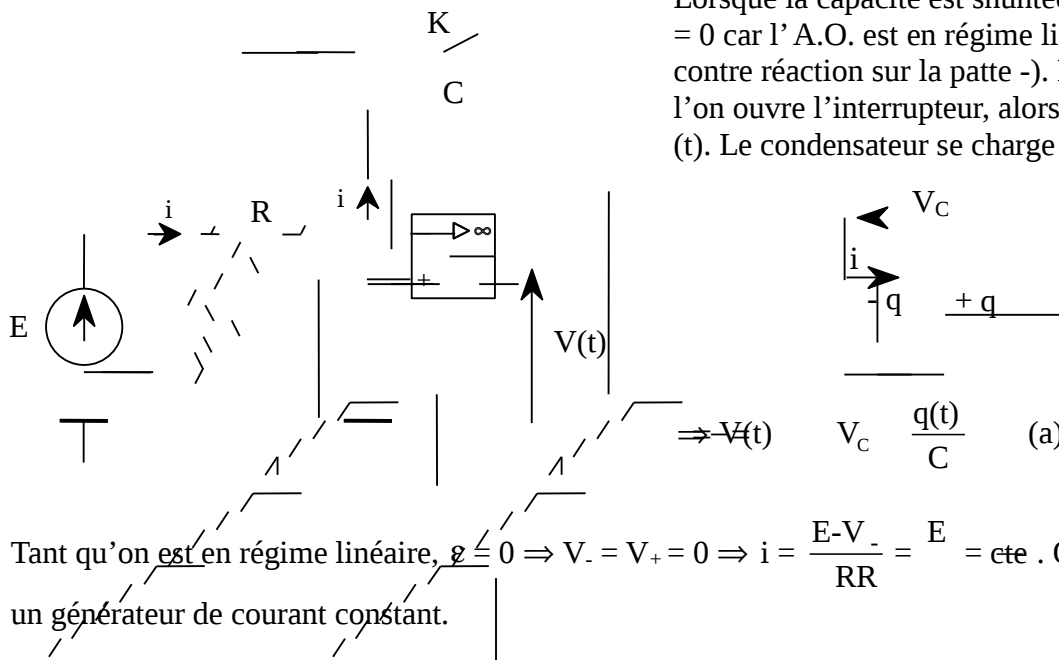
Conclusion :

Ce montage simple permet des mesures sur 4 décades. Il est donc suffisant pour les mesures courantes. Par contre, il ne permet pas la mesure des capacités électrochimiques.

2.2 Par étude de la charge à courant constant

On propose ici deux manipulations. La première consiste à montrer le montage de principe. La deuxième utilise la fonction capacimètre d'un multimètre du commerce.

2.2.1 Principe de la mesure



Tant qu'on est en régime linéaire, $\mathcal{E} = 0 \Rightarrow V_- = V_+ = 0 \Rightarrow i = \frac{E - V_-}{RR} = \frac{E}{RR} = \text{cte}$. On a donc un générateur de courant constant.

Comme $i = dq/dt \Rightarrow \int dq = \int i \cdot dt = i \cdot \int dt$ car $i = \text{cte}$. Donc $q = i \cdot t =$ (b)

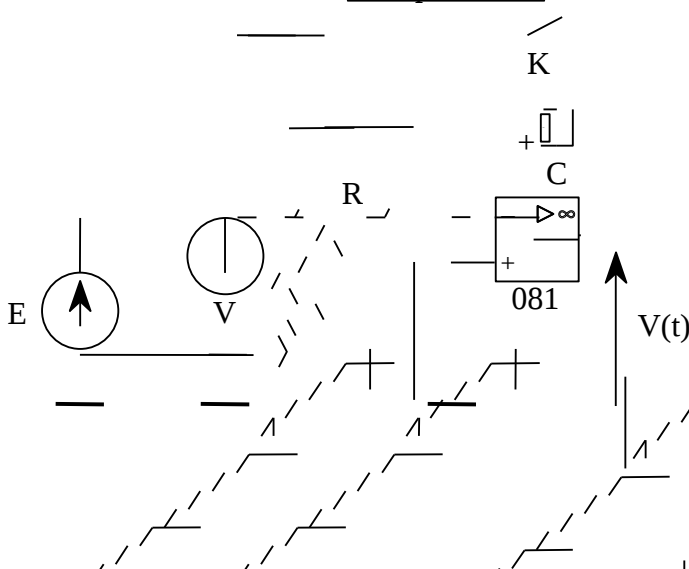
(b) dans (a) $\Rightarrow V(t) = -V_C = -\frac{iE}{CR}t = -\frac{E}{CR}t$

La tension à la sortie du montage évolue de façon linéaire en fonction du temps. Il suffit alors de mesurer la pente de cette courbe pour en déduire la valeur de la capacité par la relation suivante :

$$C = \frac{Et \Delta}{RV \Delta}$$

Cette manipulation présente l'avantage d'utiliser les lois élémentaires du condensateur. Elle permet aussi la mesure de fortes capacités ($> 10 \mu\text{F}$) qui peuvent être polarisées (il faut alors faire attention au sens de branchement de la capacité !).

2.2.2 Manipulation 1



Réalisez le montage suivant :

$R = 5 \text{ k}\Omega$
 $C = 1000 \mu\text{F}$ électrochimique ;
 respectez sa polarité !

Envoyez le signal $V(t)$ sur la table traçante jaune IF 3400.

La capacité étant préalablement shuntée, enregistrez $V(t)$ pendant 10-20 secondes. Ouvrir l'interrupteur tout en continuant à enregistrer. Vérifiez éventuellement à l'ampèremètre que I reste constant pendant la charge.

Mesurez $\alpha = \frac{\Delta t}{\Delta V}$; en déduire $C. = \frac{Et \Delta}{RV\Delta}$

Comparez le résultat de la mesure à celle donnée par la fonction capacimètre du Métrix MX 54 ou 56 (déchargez la capacité au préalable et respectez le sens de branchement !).
Calculs d'incertitude.

Remarques :

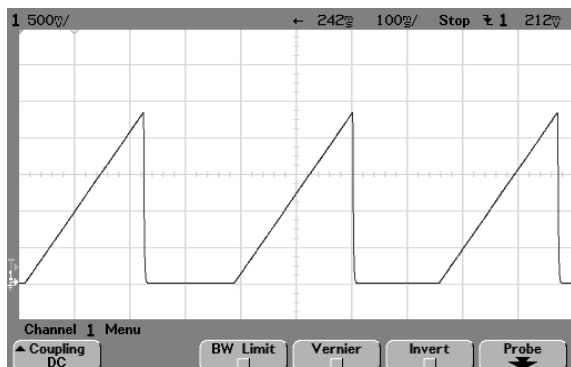
Dès que $V_C = -V_{sat}$, le courant n'est plus constant car on passe alors en régime non linéaire pour l'A.O.

Si la capacité à mesurer est plus faible, la charge est plus rapide à R constant. On peut alors utiliser un oscilloscope numérique au lieu de la table traçante et (ou) augmenter R (rôle du calibre). Il faut aussi veiller à ce que la vitesse de charge soit en dessous du slew rate de l'AO. A partir d'un certain moment, le courant de polarisation de l'AO peut aussi se rajouter à la valeur E/R . C'est pourquoi il vaut mieux prendre un AO 081 si l'on veut étendre la gamme de mesure.

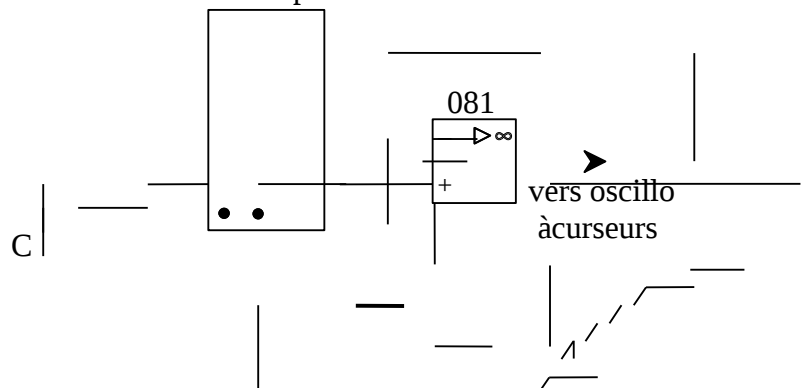
2.2.3 Manipulation 2

La fonction capacimètre des Métrix MX 54 ou 56 utilise ce système de mesure. On peut s'en rendre compte en observant à l'oscilloscope la tension aux bornes de la capacité lorsque l'on effectue une mesure avec cet appareil. Réalisez le montage suivant (C = capacité variable) :

L'ampli. op. monté en suiveur permet au multimètre de ne pas être perturbé par l'oscilloscope pendant sa mesure. Reliez l'entrée COM du multimètre à la masse de l'alimentation de l'ampli. op. ainsi que sur la masse de l'oscillo. Voici à titre indicatif le résultat d'une acquisition en mode single sur un oscillo Agilent 54621A avec une capacité de $0,9 \mu F$:



MX 54 ou 56 en fonction capacimètre



On s'aperçoit que la tension aux bornes du condensateur est constituée d'une série de rampes correspondant aux mesures successives que fait le multimètre. Si vous modifiez la valeur de la capacité, vous devez voir la pente des rampes se modifier progressivement. Elle subit des discontinuités lorsque l'appareil change automatiquement de calibre pour mesurer la capacité.

Mesures :

On propose de faire une étude sur la gamme 0,5-5 μF du Métrix. Le courant de mesure annoncé par le constructeur dans cette gamme est de 10 μA (cf. notice de l'appareil).

Mesurez à l'aide des curseurs de l'oscilloscope la pente $\alpha = \Delta t / \Delta V$ du signal aux bornes du condensateur pour différentes valeurs de la capacité. En déduire la valeur de la capacité par la relation $C = i \cdot \Delta t / \Delta V$ avec $i = 10 \mu\text{A}$. Comparez le résultat à celui de la valeur indiquée sur la boîte variable. Voici à titre indicatif le résultat d'une série de mesures :

$C_{\text{annoncé}} (\mu\text{F})$	1234			
Δt (ms)	220	219	281	334
ΔV (V)	2.15	1.07	0.918	0.818
α (s.V ⁻¹)	0.102	0.205	0.306	0.408
$C_{\text{calculée}}$	1.02	2.05	3.06	4.08

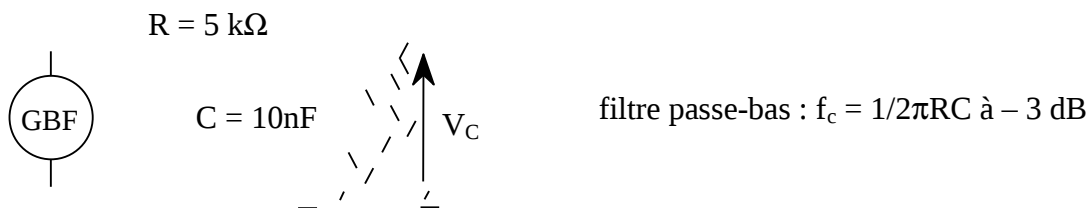
Le résultat du calcul recoupe la valeur annoncé sur la boîte variable (tenir compte de la tolérance de la boîte variable - 1 % en général). On peut faire un calcul d'incertitude sur la valeur de α (Δt et ΔV sont mesurés avec l'oscilloscope \rightarrow consultez sa notice). On ne connaît pas en revanche l'incertitude sur le courant de mesure.

2.3 Mesure par pont

Cette méthode, apparemment obsolète, permet néanmoins de mesurer la valeur d'une capacité à différentes fréquences avec un appareillage relativement peu coûteux (les ponts numériques travaillant à différentes fréquences coûtent très cher) \rightarrow elle est développée dans le § 3.2.2.

2.4 Par mesure d'une fréquence de coupure à - 3 dB

Certains multimètres permettent la mesure d'un signal en décibel (à Rennes, Keithley 199 ou 200, Métrix MX 54 ou 56). On peut donc mesurer une capacité en déterminant la fréquence de coupure d'un filtre.



Se placer en très basses fréquences. Mesurez V_C au Keithley 199 par exemple : Appuyez sur «volt», «AC», «auto». Appuyez ensuite sur «shift», «dB», «zéro» pour donner une référence à l'appareil. Augmentez la fréquence et s'arrêter lorsque l'appareil affiche - 3 dB. Mesurez C au RLC mètre. Comparez les résultats ; calcul d'incertitude.

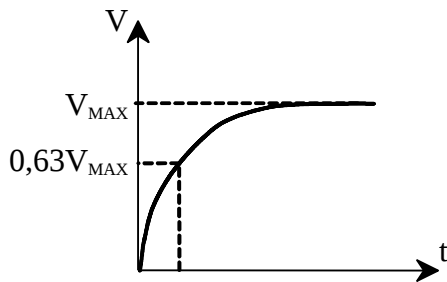
Remarque :

Cette méthode est particulièrement adaptée à la mesure de faibles capacités car si C diminue, cela augmente f_c mais on peut contrebalancer cette évolution en augmentant R pour que la fréquence à mesurer reste dans la bande passante de l'appareil. Le montage étant «moins lourd» en fil et en composant, l'influence des capacités parasites est plus faible (il faut alors éviter d'utiliser des câbles coaxiaux !).

2.5 Par mesure de τ_{RC}

Cette manip recoupe le paragraphe précédent. On met ici à profit les curseurs présents sur les oscilloscopes numériques ou sur les systèmes d'acquisition pour déterminer avec précision une constante de temps.

Le montage est identique à celui du paragraphe précédent. Visualisez V_C avec l'oscillo HP 54603B ou avec Synchronie. Passez en signal carré. Ajustez la fréquence du GBF de façon à ce que la charge du condensateur aille jusqu'au maximum (il faut avoir $f_{GBF} \ll f_c$).



$$\text{Charge } V = \Delta V(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\Rightarrow \text{à } V = 0,63.V_{\max}, t = \tau$$

Ajustez l'amplitude du créneau ou, si vous utilisez le HP 54603B, décalibrez la sensibilité verticale de votre oscilloscope pour que le signal couvre la totalité de l'écran. Utilisez la fonction "CURSOR", mesurez V_{MAX} avec les curseurs V_1 et V_2 . Passez à une mesure en pourcentage ("READ OUT" → %). Assignez à cette mesure la valeur de 100 % ("SET" → 100 %). Déplacez ensuite le curseur V_2 jusqu'à obtenir 63 %. Mesurez alors τ avec les curseurs t_1 et t_2 , en déduire C. Comparez à la mesure au pont numérique ou au capacimètre. Incertitude.

Remarque :

Synchronie permet aussi de modéliser des courbes ; on peut donc modéliser la charge ou la décharge et en déduire la valeur de τ .

Cette méthode est, comme la précédente, plus particulièrement adaptée à la mesure de faibles capacités. La condition $f_{GBF} \ll f_c$ est en effet plus difficile à réaliser pour de fortes capacités :

$$\text{pour } R = 5000 \Omega \text{ et } C = 10 \mu\text{F}, f_c = 3 \text{ Hz}$$

$$\text{avec } R = 500 \Omega \text{ et } C = 10 \mu\text{F}, \text{ on passe à } f_c = 30 \text{ Hz}$$

Si on veut encore remonter la fréquence de coupure, il faut encore abaisser la résistance ce qui risque à un moment de poser des problèmes de débit au GBF. A l'inverse, avec des faibles capacités, l'augmentation de f_c ne pose pas de problèmes de mesure pour l'oscillo. De plus, on peut augmenter R pour contrecarrer cette évolution. La limite inférieure des valeurs mesurables est atteinte lorsque la capacité d'entrée de l'oscillo ($\approx 25 \text{ pF}$) n'est plus négligeable.

2.6 Par détection synchrone

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir déterminer la partie réelle et la partie imaginaire de la capacité (on peut d'ailleurs appliquer cette technique de mesure à une self → cf. montage sur l'induction). Ce type de mesure est développé dans le § 3.3.

III IMPERFECTIONS DES CONDENSATEURS

Quaranta IV p. 127 et Duffait p. 18

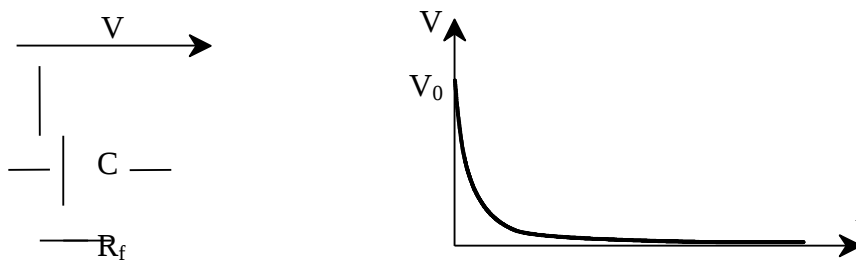
Un condensateur parfait est une capacité : impédance infinie en continu, déphasage de 90° entre le courant et la tension à ses bornes en alternatif \rightarrow il ne consomme aucune puissance ($\cos\varphi = 0$). Dans la réalité, le comportement d'un condensateur réel est cependant plus complexe :

- d'une part, l'isolant entre les armatures n'est pas parfait. \rightarrow un condensateur chargé en continu puis isolé finit toujours par se décharger. On modélise cette "autodécharge" par une résistance de fuite R_f disposée en parallèle sur la capacité.

- d'autre part, lors de l'utilisation en alternatif, le condensateur dissipe une certaine puissance que l'on peut modéliser par une résistance. Il peut aussi présenter un comportement inductif.

3.1 En continu

L'auto décharge d'un condensateur initialement chargé en continu sous la tension V_0 peut se modéliser de la façon suivante :



Dans le cadre de ce modèle, la résistance R_f entraîne la décharge du condensateur sur lui-même en suivant une loi exponentielle avec une constante de temps $\tau = R_f C$. L'évolution de la tension aux bornes du condensateur peut donc dans le principe permettre la détermination de R_f . Cette mesure se heurte cependant à plusieurs difficultés :

- les résistances de fuite des condensateurs sont énormes (du $M\Omega$ pour les plus mauvais et jusqu'à $10^{12}\Omega$) \rightarrow l'impédance du système de mesure doit être très grande. L'idéal est d'utiliser un électromètre (voltmètre à très haute impédance d'entrée obtenu en plaçant en entrée un montage suiveur avec des transistors Mosfet).

- la valeur de la résistance de fuite d'un même condensateur peut dépendre de différents facteurs (température, humidité, tension appliquée et histoire du condensateur - ces deux derniers points étant particulièrement sensibles sur les condensateurs électrochimiques) \rightarrow problème de reproductibilité.

- enfin, l'expérience montre que l'évolution de la tension ne suit pas vraiment une loi exponentielle (les pertes peuvent varier en fonction de la tension aux bornes du condensateur \rightarrow la résistance n'est pas constante).

On ne peut par conséquent donner que des ordres de grandeur concernant les résistances de fuites. En revanche, on peut montrer des différences entre condensateurs de technologie différente.

3.1.1 Comparaison entre différents condensateurs

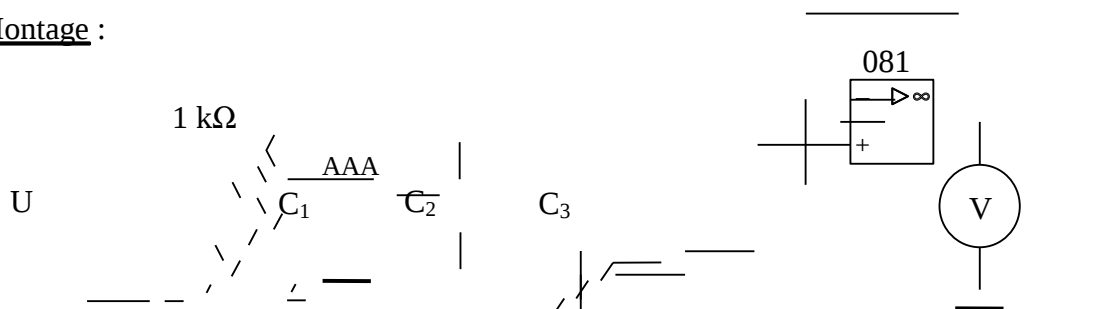
On propose ici de comparer la tenue à la charge des deux grandes familles de condensateurs rencontrés habituellement :

les condensateurs électrochimiques qui servent lorsque de fortes valeurs de capacité sont nécessaires.

les condensateurs à film plastique qui correspondent aux modèles les plus courants.

On peut aussi éventuellement rajouter une capacité étalon de type AOIP. Comme on ne dispose pas d'électromètre à Rennes, on utilisera à défaut un voltmètre classique précédé d'un suiveur à AO 081. Il ne restera branché que pour la mesure.

Montage :



Avoir un chronomètre.

C_1 : condensateur 10 ou 100 μF par exemple. Respectez sa polarité lors du branchement !

C_2 : condensateur plastique bleu, 0,68 μF par exemple

C_3 : condensateur 0.1 μF AOIP ou boîte variable par exemple.

U : 10 V alimentation ABT 1512 \rightarrow s'en servir pour alimenter l'ampli op.

Chargez dans un premier temps les capacités sous la tension U (notez sa valeur). Débranchez ensuite les fils A sur chaque capacité. Déclenchez alors le chronomètre. Au bout de 5 minutes, mesurez la tension aux bornes des différentes capacités en branchant brièvement le montage de mesure. Répétez ces mesures au bout de 20 minutes par exemple.

Analyse :

La capacité à film plastique doit se décharger très lentement. Le composant étalon doit avoir un comportement similaire. Le condensateur électrochimique est celui qui doit se décharger le plus vite. Il faut noter que dans le cas des capacités électrochimiques, la décharge est plus ou moins rapide suivant le temps de charge. Vous pouvez faire l'essai (déchargez complètement la capacité entre deux essais) : la décharge doit être plus rapide si le temps de charge est court (le dépôt électrolytique isolant est faible dans ce cas).

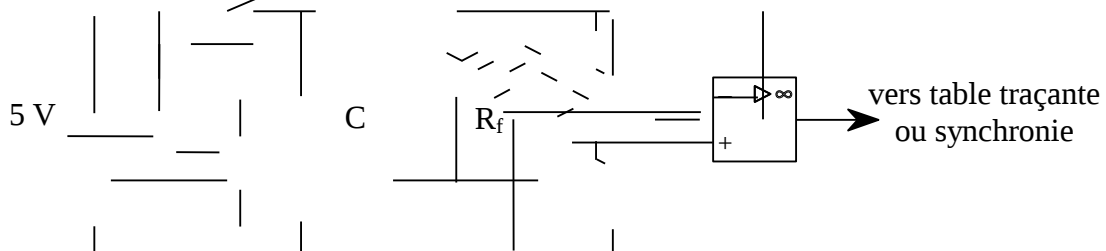
Un ordre de grandeur de la résistance de fuite peut être donné pour la capacité électrochimique. C'est plus délicat pour les autres.

3.1.2 Estimation d'une résistance de fuite

Les condensateurs du commerce ayant des résistances de fuite très grandes, la détermination de τ par une méthode analogue au § 2.5 en un temps assez court peut se faire si on dispose d'un condensateur présentant beaucoup de fuites. On utilisera à Rennes un vieux condensateur au papier (ceux ci ne sont plus utilisés dans la pratique et on été remplacés dans les usages courants par les condensateurs à film plastique).

Manipulation :

Quaranta IV p. 129



C : condensateur papier 5 μF noté «résistance de fuite d'un condensateur». On conseille d'utiliser Synchronie (cf. ci après).

Chargez le condensateur. Lancez l'enregistrement puis ouvrez l'interrupteur (ajustez la base de temps de l'enregistreur pour observer une bonne partie de la décharge). Mesurez $t = \tau = R_f C$ lorsque $V = 0,63 V_{\text{MAX}}$. En déduire R_f connaissant C (à mesurer).

Refaire la même manipulation avec un condensateur "normal" de même capacité \rightarrow on n'observe pas de décharge.

Si vous avez réalisé l'enregistrement sur Synchronie, vous pouvez comparer la courbe acquise à un modèle exponentiel (prendre le modèle le plus général d'exponentielle). Vous observerez alors que la décharge ne suit pas vraiment cette loi (d'autres acquisitions effectuées avec des condensateurs électrochimiques ont confirmé ce fait).

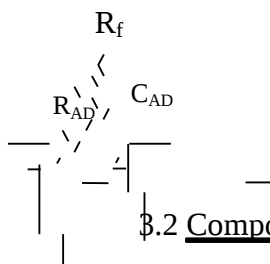
3.1.3 Remarque

Un autre phénomène parasite peut être mis en évidence en continu sur un condensateur : l'absorption diélectrique. C'est la tendance qu'à un condensateur à se recharger lui-même après avoir été déchargé. Vous pouvez faire l'expérience sur un vieux condensateur en papier (celui du § 3.1.2 à Rennes). Il suffit de le charger sous une tension constante puis de le court-circuiter pendant un instant. Si vous mesurez la tension à ses bornes au bout de quelques temps, on s'aperçoit qu'une tension est apparue à ses bornes. Celle-ci tend à atteindre plus ou moins rapidement un certain pourcentage de la tension de charge. On dit qu'une partie de la charge initiale a été absorbée par le diélectrique. L'absorption et la restitution de la charge par le diélectrique ne sont pas immédiates mais demandent un certain temps. Cet effet est modélisé par une capacité et une résistance en parallèle sur le condensateur :

C

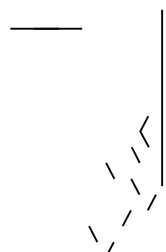
Pour plus d'informations à ce sujet, vous pouvez consulter l'adresse Internet suivante (elle traite aussi du comportement des diélectriques en fonction de la fréquence) :

<http://www.designers-guide.com/Modeling/da.pdf>

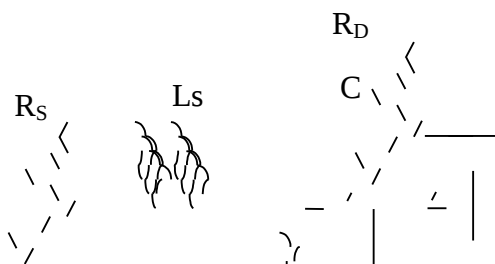


§.2 Comportement en alternatif

dans ce cas se modéliser de la façon suivante :



Le comportement réel d'un condensateur peut



La résistance R_S correspond aux résistances des connexions et des électrodes du condensateur (elle dépend de la fréquence). L'inductance L_S correspond à une inductance parasite qui dépend de la technologie de fabrication. Elle est particulièrement notable dans les condensateurs bobinés (électrochimiques par exemple). Le composant présente donc une impédance capacitive en dessous de la pulsation $\omega_{0S} = 1/\sqrt{LC}$ puis devient inductif au delà ! On négligera cet effet par la suite.

La résistance R_D représente les pertes dues au diélectrique : à chaque période, le diélectrique se polarise et se dépolarise et consomme une puissance liée à ces phénomènes. Les différents mécanismes de polarisation sont les suivants :

- la polarisabilité électronique, liée à l'apparition de moments dipolaires induit par le déplacement des électrons sous l'action du champ E
- la polarisabilité ionique, liée aux déplacements en sens inverses des ions des molécules sous l'action du champ électrique.

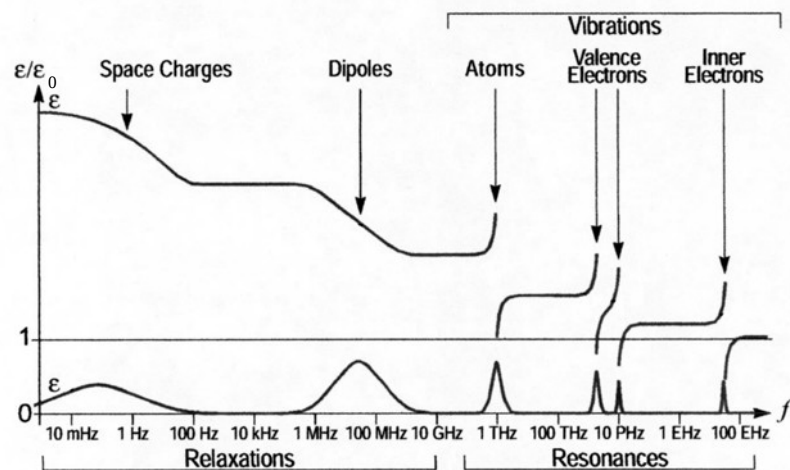
- la polarisabilité d'orientation, qui n'existe que dans les milieux polaires, liée à l'orientation dans le sens du champ électrique des dipôles permanents (elle dépend de la température, en $1/T$, contrairement aux précédentes).

enfin, on peut ajouter à ces trois mécanismes intrinsèques un quatrième qui apparaît dans les diélectriques réels : la polarisation interfaciale. Elle est due aux impuretés et aux défauts du réseau cristallin qui introduisent des discontinuités de la polarisation.

L'étude de chacun de ces phénomènes peut se faire en introduisant un indice de polarisabilité α et un indice de permittivité ϵ complexes. On obtient alors les résultats suivants :

ϵ' correspond à la partie réelle de la permittivité ; c'est celle qui intervient dans l'expression de la capacité

ϵ'' correspond à la partie imaginaire de la permittivité, elle rend compte des pertes.



La courbe obtenue apporte les commentaires suivants : lorsque la fréquence augmente, la permittivité ϵ' ne peut que diminuer. Il en sera de même pour la capacité.

dans la gamme de fréquence où l'on est amené à utiliser habituellement les condensateurs, on s'aperçoit que seuls les mécanismes de polarisation interfaciale et d'orientation peuvent amener des pertes. Ils présentent successivement la même évolution : lorsque la fréquence est suffisamment basse par rapport au temps de relaxation du processus de polarisation, la polarisation du diélectrique suit la fréquence imposée. La permittivité ϵ' est constante et les pertes sont faibles. Lorsque la

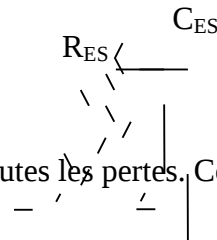
fréquence augmente, le diélectrique commence à se polariser avec un certain retard ce qui introduit une partie réelle dans l'impédance et augmente les pertes. A partir d'un certain moment, la polarisation n'arrive plus à suivre la fréquence imposée et la contribution à la permittivité du processus de polarisation envisagé tend à disparaître. Les pertes sont auparavant passées par un maximum correspondant à une fréquence de l'ordre de l'inverse du temps de relaxation du processus de polarisation. Il faut savoir en ce qui concerne le mécanisme de polarisation par orientation que cet effet arrive plus ou moins vite suivant l'aptitude qu'à le diélectrique à se polariser plus ou moins rapidement.

Pour plus de précision sur ce sujet, vous pouvez consulter les références suivantes :

- <http://www.designers-guide.com/Modeling/da.pdf>
- <http://www.ifrance.com/assocampus/pages/cdiso.htm> (très bien)
- P. Robert : matériaux de l'électrotechnique, ch. 4

Modèles équivalents :

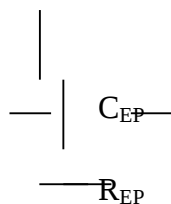
Si l'on travaille à suffisamment basses fréquences pour pouvoir négliger l'inductance parasite L_s , on peut facilement montrer que pour une pulsation ω donnée, le modèle précédent peut se ramener au suivant :



La résistance R_{ES} , résistance équivalente série, englobe toutes les pertes. Comme on a en général $R_D C \omega \gg 1$, on a :

$$R_{ES} \approx R_s + \frac{1}{R_C \omega^2} \quad \text{et} \quad C_{ES} \approx C$$

On peut aussi donner un modèle équivalent en parallèle par une transformation élémentaire (cf. Quaranta IV, p. 128) :

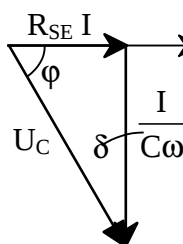


Si le condensateur est à faibles pertes, on a :

$$R_{EP} \approx \frac{1}{R_C \omega^2} \quad \text{et} \quad C_{EP} \approx C$$

Caractérisation d'un condensateur en alternatif :

On caractérise habituellement le comportement en alternatif d'un condensateur par son angle de perte δ (on l'introduit ici à partir du diagramme de Fresnel sur le modèle série) :



L'angle de perte δ correspond au complément de l'angle de phase φ . Il est nul pour un condensateur parfait. On peut l'exprimer à partir de la résistance équivalente série :

$$\text{tg} \delta = \frac{R_{ES}}{I/C \omega} \Rightarrow \boxed{\text{tg} \delta = R_{ES} C \omega}$$

On peut aussi l'exprimer à partir du modèle parallèle (il suffit d'injecter dans le résultat précédent l'expression de R_{ES} en fonction de R_{EP}) :

$$\boxed{\text{tg}\delta = \frac{1}{R_{EP} \omega}}$$

Les RLC mètres les plus courant donnent plutôt en général le facteur de dissipation D. Il correspond au rapport de l'énergie dissipée sur l'énergie stockée. On a :

$$\begin{aligned} E_{\text{dissipée}} &= P_{\text{active}} \cdot t = U_{\text{active}} \cdot I \cdot t = R_{ES} \cdot I^2 \cdot t \\ E_{\text{stockée}} &= P_{\text{réactive}} \cdot t = U_{\text{réactive}} \cdot I \cdot t = \frac{I^2}{C\omega} \cdot t \end{aligned} \Rightarrow \boxed{D = \text{tg}\delta = \frac{1}{R_{EP} \omega}}$$

→ le facteur de dissipation correspond simplement à la tangente de l'angle de perte.

Le RLC mètre ELC 3131D dont on dispose à Rennes donne aussi le facteur de qualité Q qui correspond à l'inverse du facteur de dissipation : $Q = 1/D$.

3.2.1 Comparaison de différentes capacités

On propose dans un premier temps une comparaison analogue à celle du § 3.1.1 mais en alternatif cette fois à l'aide du RLC mètre ELC 3131D. Outre les condensateurs électrochimiques et ceux en film plastique, on propose d'étudier en plus des condensateurs spécialement conçus pour une utilisation en haute fréquence.

Manipulation :

Une boîte contient les condensateurs prévus pour cette étude ; elle contient des condensateurs électrochimiques de 100 et 10 μF , des condensateurs à film plastique de 680, 10 et 1 nF ainsi que des condensateurs céramiques de 330 et 220 pF. On n'est pas obligé de tous les étudier !

Mesurez la valeur de la capacité et le facteur de dissipation D (ou Q) des condensateurs choisis à l'aide du RLC mètre ELC 3131D en montage 4 fils à 120 Hz et 1 kHz (la mesure de D ou Q peut mettre un certain temps avant de se stabiliser, notamment avec les capacités céramiques). Regroupez dans un tableau les valeurs moyennes de D ou Q ainsi que la variation relative de la capacité entre ces deux fréquences. Comparez les résultats obtenus.

Remarque :

Le facteur de dissipation D (ou Q) peut sensiblement varier d'un condensateur à l'autre dans une même série (même technologie et même valeur annoncée). De plus, ces valeurs peuvent dépendre des conditions de l'expérience (température entre autres) → seul compte l'ordre de grandeur et la comparaison d'une famille à l'autre.

Analyse des résultats :

La capacité diminue lorsque la fréquence augmente et ce quelque soit le type de condensateur. Ceci est en accord avec ce qui a été dit en introduction de ce paragraphe.

La capacité des condensateurs électrochimiques évolue sensiblement entre les deux fréquences de mesure. Elle diminue de l'ordre de 4 à 10 % entre 120 et 1 kHz. La variation relative de la capacité des condensateurs à film plastique et des condensateurs en céramique est nettement plus faible (de l'ordre de 0,5 % ou moins).

Les condensateurs électrochimiques sont ceux qui présentent le plus de pertes (D fort ou Q faible). Les pertes à 1 kHz sont plus fortes qu'à 120 Hz. L'évolution est la même pour les condensateurs à film plastique mais les pertes sont nettement plus faibles. Ce type de condensateurs a donc un meilleur comportement en fréquence que les électrochimiques. C'est pour cette raison que le découplage des lignes d'alimentation continue est parfois réalisée par la mise en parallèle d'un condensateur électrochimique de forte valeur et d'un condensateur à film plastique de plus faible capacité).

Les condensateurs à céramiques ont un angle de pertes très faible à 1 kHz. Il est un peu moins bon à 120 Hz (justifiez à partir de la courbe) mais ce n'est pas vraiment un problème car ils sont surtout destinés à une utilisation en HF (le constructeur donne d'ailleurs l'angle de perte à 1 MHz !). L'idéal aurait été de mesurer son angle de pertes à une plus haute fréquence.

Remarque :

Les condensateurs en céramiques n'ont pas tous une excellente tenue (cf. R. Besson : Technologie des composants électroniques, Tome 1, ch. IV).

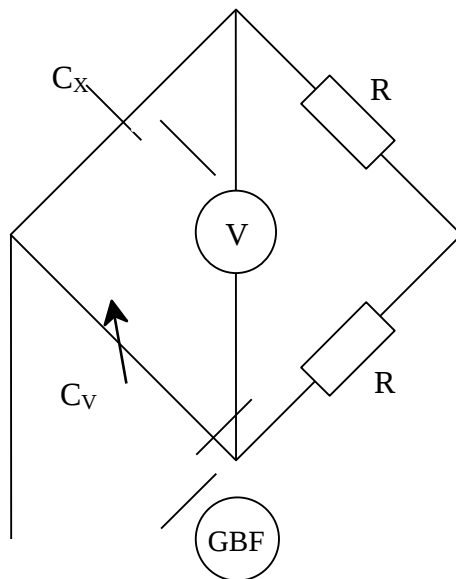
Si vous faites la manipulation suivante, il peut être judicieux d'effectuer les mesures précédentes sur le condensateur papier et sur la capacité variable pour comparer leurs performances (l'étalon doit être meilleur que le condensateur étudié).

3.2.2 Mesure par pont

Quaranta IV p. 124 et 131
Berty Fagot Martin tome 2 p. 55
Duffait p. 20

L'utilisation d'un pont de mesure permet de mesurer la valeur d'une capacité pour différentes fréquences à peu de frais. Il faut alors veiller à ce que les étalons aient de meilleures performances en fréquence que la capacité à mesurer → on étudiera ici un vieux condensateur au papier.

Montage :



R : AOIP de précision 1000 Ω

C_x : condensateur à mesurer
Prendre celui noté

C₀ : capacité variable

V : millivoltmètre alternatif 2Hz - 2MHz
Philips PM 2454

GBF : f = 1000 Hz , signal ≈ au max.
Veillez à bien le brancher par rapport à la disposition des impédances dans le pont !

A l'équilibre, on a $R.C_x = R.C_0 \Rightarrow$ On a ici $C_x = C_0$

Mesure de V :

L'emploi d'un oscilloscope pour cette mesure est à proscrire s'il n'est pas différentiel car on a alors un problème de masse dans le montage. On peut y remédier en utilisant un système flottant ou une sonde atténuatrice mais chacune de ces solutions apporte un nouveau problème (50 Hz parasite ou perte de sensibilité à cause de l'atténuation). L'emploi d'un voltmètre résout le problème à condition qu'il suive en fréquence. L'appareil conseillé ici possède l'avantage supplémentaire d'être à aiguille → on voit mieux l'évolution du signal.

Mesures :

Equilibrez le pont à l'aide de C_0 pour les fréquences suivantes :

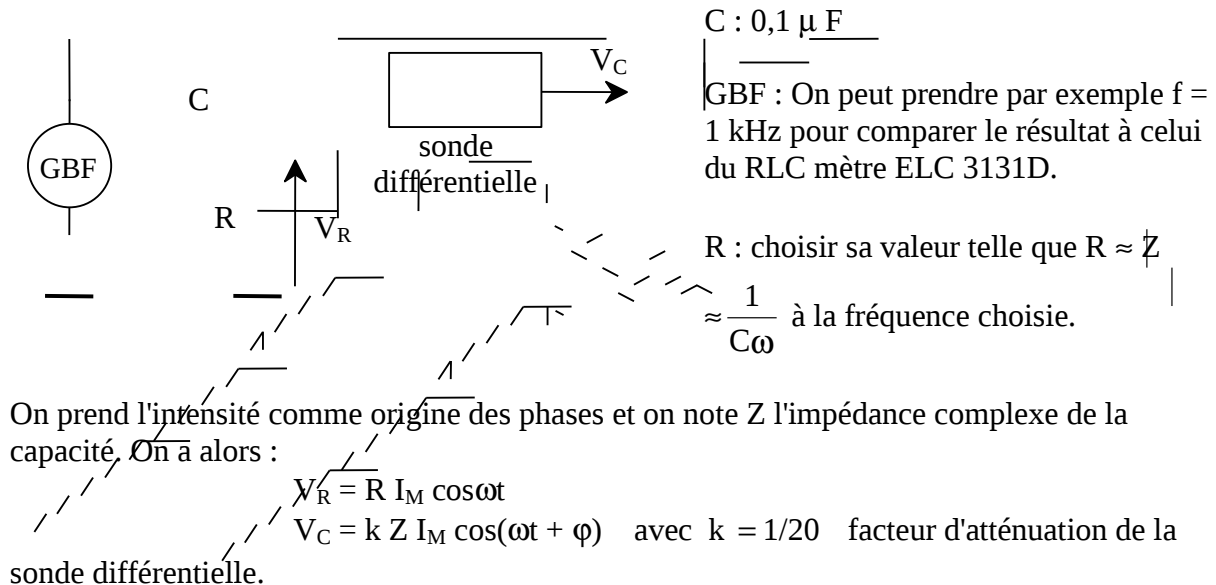
F (kHz)	1	10	100	1000
$C_0 = C_X$ (nF)				

La mesure à 1 kHz peut être comparée à celle du RLC mètre 3131D. Cette capacité a été mesurée avec un pont performant (2800 euros !) à 10 et 100 kHz (fréquence maximum de mesure pour le pont). Les résultats obtenus sont les suivants : 131,1 nF à 10 kHz et 123.5 nF à 100 kHz.

3.2.3 Utilisation d'une détection synchrone

On se propose de mesurer R_{ES} à l'aide d'une détection synchrone. On utilise ici une détection synchrone intégrée EGG 5104 mais cette mesure peut aussi s'effectuer en réalisant un montage à partir de composants discrets (cf. Duffait p. 14).

Montage :



Détection synchrone :

Cet appareil comporte une entrée "SIGNAL" notée par la suite V_S et une entrée "REFERENCE" notée V_{REF} . Il fait le produit de ces deux tensions, intègre le résultat et affiche la tension obtenue. Le circuit "PHASE" permet d'introduire un déphasage Φ entre les deux signaux avant leur multiplication. La valeur du déphasage Φ introduit est aussi donnée par un afficheur. Les commandes "FILTRES" permettent de traiter V_S . On éliminera le bruit dû au 50 Hz avec "LINE FILTER" et on mettra en route la fonction "TRACK" (le

signal V_S passe alors dans un filtre passe-bande centré sur sa propre fréquence). La mesure se déroule en trois étapes.

Première mesure : $V_R = V_{REF}$; $V_C = V_S$; $\Phi = 0^\circ$:

Le produit de ces tensions donne alors :

$$V_1 = k R Z I_M^2 \cos \omega t \cos(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} k R Z I_M^2 [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos \varphi]$$

Le signal étant ensuite intégré, on élimine la composante alternative et l'on ne garde que la composante continue. On a donc :

$$\overline{V}_1 = \frac{1}{2} k R Z I_M^2 \cos \varphi$$

Deuxième mesure : $V_R = V_{REF}$; $V_C = V_S$; $\Phi = 90^\circ$:

On déphase le signal de référence par rapport au signal d'entrée en appuyant une fois sur $+90^\circ$ (dans le menu "PHASE" de la détection synchrone). Après multiplication des tensions et intégration, on obtient en sortie la tension :

$$\overline{V}_2 = \frac{1}{2} k R Z I_M^2 \sin \varphi$$

Troisième mesure : $V_R = V_S = V_{REF}$; $\Phi = 0^\circ$:

Le signal aux bornes de la résistance est envoyé aux deux entrées de la détection synchrone (gardez la sonde différentielle et laissez le montage alimenté !). Après multiplication et intégration on obtient cette fois-ci en sortie une tension de valeur :

$$\overline{V}_3 = \frac{1}{2} k R^2 I_M^2$$

Calcul de l'impédance :

On montre facilement à l'aide des expressions obtenues précédemment que :

$$Z \cos \varphi = R \frac{\overline{V}_1}{\overline{V}_3} \quad \text{et} \quad Z \sin \varphi = R \frac{\overline{V}_2}{\overline{V}_3}$$

Le premier terme correspond à la partie réelle de l'impédance soit R_{ES} .

Le deuxième terme correspond à la partie imaginaire de l'impédance soit $\frac{1}{C\omega}$

Conseils de mesure :

Intégrez le signal de sortie avec le filtre à 12 dB. Choisir en entrée une sensibilité adéquate pour avoir un signal de sortie fort mais ne dépassant pas 10 V (un signal affiché de 10 V correspond à la sensibilité sélectionnée ; au delà, l'affichage sature). Si le signal est instable, augmentez le temps d'intégration (le temps de mesure est alors plus long).

IV APPLICATIONS

La encore, de nombreuses expériences sont possibles ; on n'en présente que quelques unes dans des domaines différents mais d'autres choix sont possibles.

4.1 Réalisation de multivibrateurs

Les multivibrateurs sont des oscillateurs de relaxation très utilisés en électronique (c'est le cœur des GBF par exemple) et ils sont pour la plupart basés sur une cellule RC travaillant en régime transitoire. Les configurations sont multiples (cf. Duffait ou Quaranta) mais le principe est toujours le même. Le condensateur étudié au § 2.1 en est un exemple → le citer comme application possible.

4.2 Détecteur de niveau

On peut mesurer le niveau d'un liquide contenu dans un récipient en y plongeant un condensateur cylindrique. En effet, le liquide ayant une constante diélectrique différente de l'air, la capacité du condensateur va varier en fonction du niveau.

4.2.1 Manipulation

C : capacimètre ou pont RLC pouvant mesurer des pico-Farad → à Rennes, prendre le Velleman DVM 98 (le pont RLC ne marche pas bien).

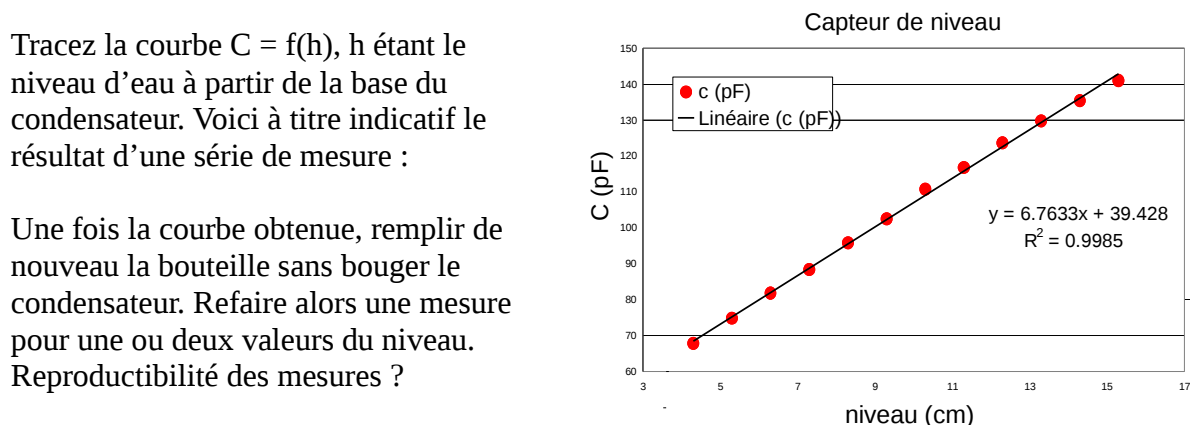
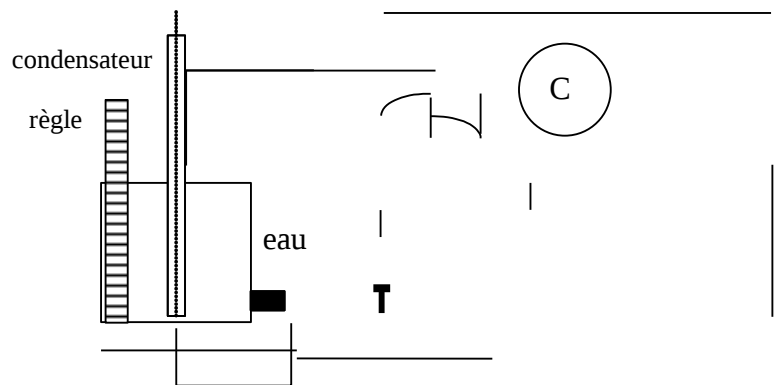
Condensateur : reliez le fil rouge et la carcasse métallique (via une pince croco) au capacimètre.

Mesurez la capacité du condensateur à vide.

Remplir la bouteille d'eau. Mesurez la valeur de la capacité pour différentes valeurs du niveau d'eau (faire des mesures tout les cm). L'eau mettant un certain temps avant de s'évacuer du condensateur, attendre que la valeur se stabilise avant d'effectuer la mesure.

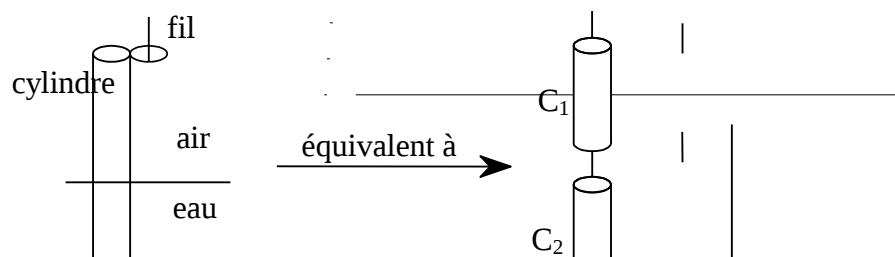
Tracez la courbe $C = f(h)$, h étant le niveau d'eau à partir de la base du condensateur. Voici à titre indicatif le résultat d'une série de mesure :

Une fois la courbe obtenue, remplir de nouveau la bouteille sans bouger le condensateur. Refaire alors une mesure pour une ou deux valeurs du niveau. Reproductibilité des mesures ?



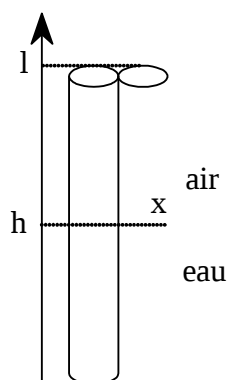
4.2.2 Analyse

Le condensateur plongeant en partie dans l'eau, on peut considérer le système comme l'association de deux condensateurs de constante diélectrique différente.



On a donc une association en parallèle de C_1 et $C_2 \Rightarrow C_T = C_1 + C_2$

Or la capacité d'un condensateur cylindrique a pour expression (cf. Fleury Mathieu : Electrostatique p. 114) :



$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(R_2/R_1)} x$$

$$\Rightarrow C_T = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(R_2/R_1)} [l - h + \epsilon_r h]$$

$$= \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(R_2/R_1)} [l + h(\epsilon_r - 1)]$$

or $\frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(R_2/R_1)} l$ correspond à la capacité C_0 du condensateur

totalemment dans l'air.

$$\Rightarrow C_T = C_0 + \frac{2\pi\epsilon_0(\epsilon_r - 1)}{\ln(R_2/R_1)} h \quad \Rightarrow \quad \boxed{C_T = C_0 + kh}$$

Le détecteur de niveau voit varier sa capacité de façon linéaire.

Cette application est intéressante à présenter car elle utilise directement l'expression donnant la valeur de la capacité du condensateur.

4.3 Réalisation de filtres

C'est encore un domaine où les condensateurs sont largement utilisés. La aussi, le choix est vaste. On propose deux types de filtres différents.

4.3.1 Filtre sélectif

cf. montage M 27 (Filtrage), § 4.1

4.3.2 Filtres à capacités commutées

Se reporter au montage «Filtrage».

Bibliographie :

Quaranta III et IV

Duffait : Expériences d'électronique à l'agrégation

Barchiesi : Comprendre la Physique en expérimentant, p. 81 82.

Fleury Mathieu : Electrostatique, Courants continus, Magnétisme.

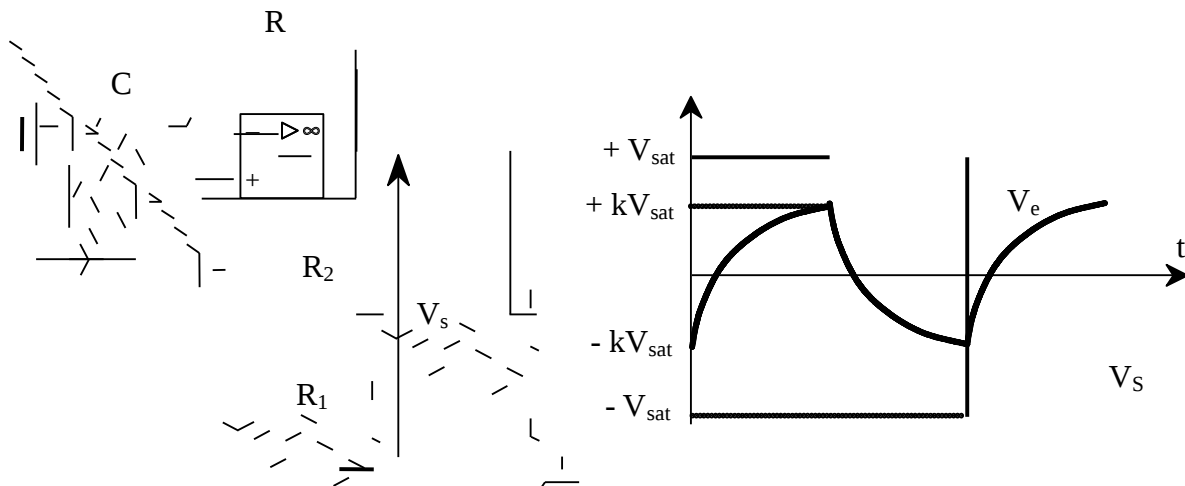
P. Robert : Matériaux de l'électrotechnique, ch. 4 (diélectriques), Dunod (réf.

BU Rennes : 621.3 C 10452).

R. Besson : Technologie des composants électroniques, Tome 1, ch. IV Radio

Editions (réf. BU Rennes : 621.3 C 11124/1).

ANNEXE : CALCUL DE LA PERIODE DE L'OSCILLATEUR



La borne + de l'AO a son potentiel imposé par le pont R_1, R_2 :

$$V_+ = kV_s \quad \text{avec} \quad k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

La réaction étant positive, l'AO fonctionne en commutation : $V_s = \pm U \Rightarrow V_+ = \pm kU$

$V_s = \pm V_{sat} \Rightarrow$ le condensateur se charge ou se décharge à travers R sous $\pm U$. La sortie basculera dès que $V_c = V_C$ atteindra la valeur $V_+ = \pm kU$

Calcul de T :

Cas d'une charge : $V_c = V_C = A + B e^{-t/RC}$

$$t = 0 \quad V_C = -kU \quad \Rightarrow \quad A + B = -kU$$

$$t \rightarrow \infty \quad V_C \rightarrow U \quad \Rightarrow \quad A = +U$$

$$\Rightarrow \quad B = -(1+k)U$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Soit } V_C = U (1 - (1+k) e^{-t/RC}) \\ \text{Or à } t = T/2 \quad V_C = kU \end{array} \right\} \Rightarrow k = 1 - (1+k) e^{-T/2RC}$$

$$\Rightarrow e^{-\frac{T}{2RC}} = \frac{1-k}{1+k} \quad \text{d'où} \quad T = 2RC \ln \left(\frac{1+k}{1-k} \right), \text{ soit finalement : } \boxed{T = 2RC \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)}$$

