

MP 19 : EFFETS CAPACITIFS

21 novembre 2017

AAAAAAAH OUI
HG

Ugo Petrone & Tristan Guyomar

Commentaires du jury

Le titre du montage est passé de (jusqu'en 2000) *Mesure de capacités électriques, propriétés des diélectriques* à (jusqu'en 2009) *Condensateurs; effets capacitifs* puis (jusqu'en 2012) : *Effets capacitifs. Applications* pour devenir ce qu'il est aujourd'hui : *Effets capacitifs*.

2017 : La connaissance du principe d'un RLC mètre est essentielle dans ce montage.

2015,2016 : : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

2013 : : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Il est dommage que les candidats se limitent le plus souvent à l'étude du condensateur d'Aepinus et à celle d'un circuit RC.

2006 : Pour mesurer des capacités de petite valeur, on ne peut pas négliger la capacité d'entrée de l'oscilloscope ou celle des câbles.

Bibliographie

- ♣ *Expériences d'électronique à l'agrégation de physique*, **R. Duffait et J-P Lièvre** → On le connaît, utile ici pour le multivibrateur astable et le filtre RC.
- ♣ *Dictionnaire de physique expérimentale - TOME IV - Electricité et Applications*, **Donnini et Quaranta** → pp 118 à 138 : riches de beaucoup d'expériences quantitatives et qualitatives sur les condensateurs.
- ♣ *Théorie du signal et composants*, **Manneville et Esquieu** → pp 140 à 158 : riches de beaucoup d'expériences quantitatives et qualitatives sur les condensateurs.

Expériences

- ♣ Mesures de la permittivité diélectrique de l'air par le condensateur d'Aepinus
- ♣ Détermination d'une capacité par la mesure de la période d'un oscillateur (Multivibrateur astable), application à la mesure de la capacité d'un câble coaxial
- ♣ Application de l'effet capacitif : filtrage passe-bas du RC
- ♣ Mesure des effets capacitifs dans une diode

Table des matières

1	Mesure de la permittivité diélectrique de l'air grâce au condensateur d'Aepinus	2
2	Multivibrateur astable	2
3	Filtrage passe-bas du RC	3
4	Effet capacitif dans une jonction PN	3

Introduction

Lorsque deux conducteurs électriques sont séparés par un milieu isolant, autrement appelé diélectrique, lorsqu'on applique une différence de potentiel entre les armatures, on assiste à une accumulation de charges par effet électrostatique. C'est l'effet capacitif. La capacité est directement reliée aux charges qui sont stockées sur les armatures et inversement proportionnelle à la différence de potentiel. Ce montage propose d'étudier en premier lieu un modèle de condensateur plan puis de montrer une technique permettant d'exploiter une de ces propriétés pour mesurer la valeur de la capacité. Enfin on verra deux applications de la compréhension des effets capacitifs : le filtrage RC et les effets capacitifs dans une jonction PN polarisée en inverse.

1 Mesure de la permittivité diélectrique de l'air grâce au condensateur d'Aepinus

Le condensateur d'Aepinus est constitué de deux armatures conductrices parallèles en regard, séparées par de l'air qui joue le rôle de diélectrique. La capacité de ce condensateur est :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$$

où S est la surface des plaques, e est l'écartement entre les deux plaques (mesuré au vernier) $\epsilon_0 = 8,854187 \times 10^{-12}$ F.m⁻¹ (valeur wikipedia) et ϵ_r la permittivité diélectrique relative de l'air tabulée à $\epsilon_r = 1,0005$.

ATTENTION : cette formule est vraie uniquement si on considère $S \gg e^2$

Étude du condensateur d'Aepinus

🔗 Quaranta IV à "Condensateurs" p.188

⌚ 5 min

On utilise le condensateur d'Aepinus P68.12. Pour minimiser les capacités parasites dues aux fils, on les fixe avec du scotch en les maintenant le plus loin possible du condensateur. On les relie ensuite à un RLC-mètre (Volcraft LCR4080 P69.33), réglé en capacimètre à 1 kHz, on obtient la capacité du condensateur d'Aepinus. On réalise cette mesure plusieurs fois pour différents écartements e . On trace C en fonction de $1/e$. On en déduit la valeur de ϵ_r , connaissant la valeur de $S = 560 \text{cm}^2$. Il s'en suit une discussion sur les conditions de validité des points mesurés, sur l'importance des capacités de fils et sur l'âge du capitaine.

2 Multivibrateur astable

On illustre par cette partie comment un condensateur peut stocker de l'énergie électrique et comment on peut utiliser cette propriété pour déterminer sa capacité. Le multivibrateur astable est un oscillateur à relaxation. Dans ces types d'oscillateurs, l'énergie peut s'accumuler dans un réservoir (ici le condensateur) et se vider. Pour déterminer l'instant de vidange du réservoir il faut imposer un seuil. C'est le rôle du comparateur à hystérésis. Le circuit oscille donc entre des phases de remplissage de la capacité et des phases de vidange. On peut déterminer que la période de ces phénomènes est égale dans les deux cas et qu'elle vaut $T = 4 \frac{R_1 RC}{R_2}$ (cf figure 1).

La tension v_{s2} est donc une tension crête à crête $\pm V_{sat}$ de période T , et la tension v_{s1} est une tension triangulaire $\pm R_1 V_{sat} / R_2$ de même période. On prend $R = 100 \text{k}\Omega$, $R_1 = 3,3 \text{k}\Omega$ et $R_2 = 10 \text{k}\Omega$ (on mesure ces résistances précisément à l'ohm-mètre et on regarde la notice pour connaître les incertitudes de mesure). On note aussi qu'il est important de prendre $\frac{R_1}{R_2} < 1$ pour être sûr d'avoir inversion. La période des oscillations nous donne donc accès à la valeur de la capacité C .

Étalonnage du multivibrateur astable et application pour la mesure de la capacité du câble coaxial

🔗

⌚ 5 min

On étalonne le multivibrateur astable : on mesure la période T pour plusieurs valeurs de la capacité C mesurée au RLC-mètre (Volcraft LCR4080 P69.33). On trace T en fonction de C : on a une droite de pente $4R_1 R / R_2$. On branche ensuite le câble coaxial (**rajouter référence**) et on mesure sa capacité grâce à la période de l'oscillateur.

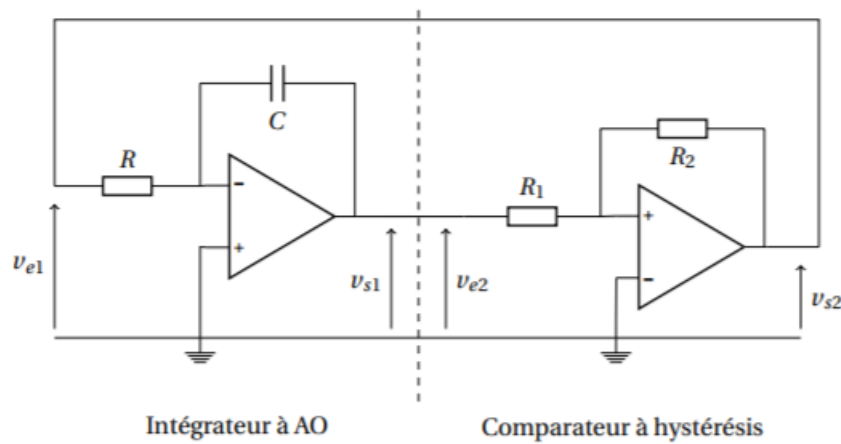


FIGURE 1 – Multivibrateur astable

3 Filtrage passe-bas du RC

On réalise un filtre RC en prenant $R = 10\text{k}\Omega$ et $C = 10\text{nF}$. On en trace le diagramme de Bode en relevant la tension aux bornes du condensateur.

Note : il semble impossible de réaliser le diagramme de Bode en utilisant la réponse indiciale grâce à une acquisition sous Latis-Pro. Un problème de transformée de Fourier semblerait-il. Mais cette méthode marche très bien dès que vous avez un filtre d'ordre 2. C'est rassurant. On a donc procédé ici à la bonne vieille méthode des mesures rentrées sous Regressi.

On obtient le diagramme de Bode en gain et en phase du filtre RC. En théorie, on a une fréquence de coupure de :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1591\text{Hz}$$

On vérifie les résultats théoriques attendus :

- l'asymptote horizontale en basse fréquence (0 dB)
- la pente de l'asymptote en haute fréquence
- la droite verticale à -3dB

en regardant l'asymptote

4 Effet capacitif dans une jonction PN

Les effets capacitifs ne sont pas toujours un avantage. Ils peuvent apparaître lorsqu'on travaille à haute fréquence. C'est le cas pour une jonction PN polarisée en inverse.

On prend une diode zéner 12V P29.9 et une résistance $R = 100\text{k}\Omega$. **En inverse**, la diode peut se modéliser par une capacité, notée C_i . En fonctionnement inverse, on applique une tension sinusoïdale d'amplitude et d'offset tels que la diode soit toujours polarisée en inverse. A la page 141 du Manneville il montre que la capacité d'une jonction PN polarisée en inverse s'écrit comme :

$$C = S \sqrt{\frac{\epsilon_2^e}{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{V_0 + V}}$$

On vous laisse ouvrir le bouquin pour connaître tout sur l'obtention de cette formule. Sachez que V_0 est la barrière de potentiel, N_A la concentration d'atomes accepteurs du semi-conducteur P, N_D la concentration en atomes donneurs du semi-conducteur N. On va donc essayer de montrer la dépendance de C avec la tension V qu'on lui applique. On commence par vérifier que la diode polarisée en inverse fonctionne comme un passe-bas. On a tracé le diagramme de Bode pour une tension $V = 2\text{V}$ et un offset de 1V. On va donc pouvoir se servir de cette caractérisation pour remonter à la capacité de la diode. On repère la fréquence de coupure en utilisant le critère à -3dB. On utilise des voltmètres pour être plus précis sur la mesure des tensions. Et on repère f sur le GBF. On trace ensuite $f_c^2 = \frac{1}{4\pi R^2 C^2} = g(V)$ et on s'attend à une droite.

On peut ici parler de la diode varicap et de son intérêt.

Conclusion

Comme nous l'avons vu, les effets capacitifs peuvent avoir de nombreuses applications. Nous en avons détaillé quelques unes mais on aurait aussi pu détailler comment utiliser une capacité, ou plus précisément sa variation, pour construire un capteur de position.

Questions, commentaires, opinions, recette du pudding à l'arsenic :