

# MP19 EFFETS CAPACITIFS

9 décembre 2019

CEATANO Frédéric & MONNET Benjamin

## Commentaires personnels

On s'est beaucoup inspiré du plan de montage 2018 et 2014 qui sont très bien rédigés et proposent quelques montages originaux.

## Commentaires du jury

Le titre du montage est passé de *Mesure de capacités électriques, propriétés des diélectriques* (jusqu'en 2000) à *Condensateurs ; effets capacitifs* puis (jusqu'en 2009) : *Condensateurs ; effets capacitifs. Applications* (jusqu'en 2012) 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.** → multivibrateur astable et filtre RC  
**Duffait et J-P Lièvre**<sup>1</sup>

✦ *Théorie du signal et composants*, **Manneville et Esquieu** → Tout ce qu'il faut sur la capacité d'une diode

✦ *Quaranta IV* → Condensateur d'Aepinus

## Expériences

- ✦ Mesure de la permittivité du vide
- ✦ Mesure de la capacité d'une diode polarisée en inverse
- ✦ Etalonnage d'une multivibrateur astable
- ✦ Mesure de la capacité linéique d'un câble coaxial
- ✦ Détecteur de présence

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Condensateur d'Aepinus</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Mesure de capacités</b>	<b>2</b>
2.1	Le diagramme de Bode . . . . .	2
2.2	Le multivibrateur astable . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Le câble coaxial</b>	<b>4</b>

## Introduction

Lorsque deux conducteurs sont mis face à face (deux fils côte à côte, deux plaques, etc...), des charges s'accumulent sur chacune d'elle lorsqu'une tension est appliquée de part et d'autre. Ce phénomène s'appelle l'effet capacitif. La grandeur associée en électronique est la capacité.

## 1 Condensateur d'Aepinus

☞ Quaranta IV à "Condensateurs" p.188

On cherche dans un premier temps à essayer de comprendre ce qui influence la valeur d'un condensateur. La condensateur d'Aepinus (P69) permet de mettre en évidence la formule  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$  valable dans le cas où  $e \ll \sqrt{S}$ .

### Mesure de la permittivité du vide

☞ Quaranta IV à "Condensateurs" p.188

⊖ min

Le but de la manip est de mesurer la permittivité du vide à l'aide d'un condensateur d'Aepinus P68.12. On sait que  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$ . La valeur tabulée de  $\epsilon_r$  est 1,000 6. En traçant C que l'on mesure avec un RLC-mètre (P69.33 par exemple) en fonction de  $\frac{1}{e}$ , on remonte à  $\epsilon_0$ .

Dans cette manip, il ne faut pas oublier que les fils rajoutent une capacité dont la valeur varie selon leur longueur et leur position. Les câbles doivent donc bien rester fixes tout au long des mesures. Notre droite ne sera donc pas linéaire mais affine avec pour ordonnée à l'origine la capacité que rajoute notre circuit.

Remarque :

- Le but de cette expérience est de vérifier la loi et non de remonter une valeur !
- Cette expérience peut être remasterisée : il est possible de chercher la valeur de  $\epsilon_r$  pour l'air ou bien le verre ou encore le PVC.

↓  
Nous avons vu les paramètres influençant la valeur d'une capacité. Néanmoins nous avons utilisé un RLC-mètre pour la mesurer. Nous allons voir d'autres méthodes permettant de mesurer une capacité.

## 2 Mesure de capacités

### 2.1 Le diagramme de Bode

On va commencer par une méthode classique : le tracé du diagramme de Bode. On va ici le réaliser à l'aide d'une réponse impulsionnelle. Cette méthode est moins précise qu'un tracé point par point mais peut permettre de faire gagner un temps précieux. On s'attend à une fonction de transfert de la forme  $H(\omega) = \frac{1}{1+RCj\omega}$ .

### Mesure de la capacité d'une diode de redressement

☞ Manneville, p141

⊖ min

On effectue un circuit RC dont on trace le diagramme de Bode à l'aide de la réponse impulsionnelle. Le rôle de la capacité est assuré par une diode de redressement (P29.4). La capacité théorique d'une diode polarisée **en inverse** est donnée p141 du Manneville. Le Duffait donne une valeur attendue autour de la centaine de pF.

Il faut bien penser à lisser la courbe avant (et pourquoi pas après) de la dériver.

Remarque : cette expérience peut être remplacée par un simple circuit RC habituel.

Remarque :

- Cette méthode ne se prête pas à faire une mesure mais à obtenir l'allure d'un diagramme de Bode!! Il vaut mieux utiliser le temps de réponse à 67 % ou encore la tangente à l'origine qui donne des résultats plus précis plus rapidement
- Il peut être intéressant de tracer la variation de la capacité de la diode avec la tension de polarisation (il y a le temps de le faire)

↓ La méthode que nous avons vu là n'est pas très précise (attention : le tracé de diagramme de Bode est une méthode précise ! C'est le tracé du diagramme à l'aide de la réponse impulsionnelle qui ne l'est pas). On va donc maintenant mettre en place une autre méthode plus précise.

## 2.2 Le multivibrateur astable

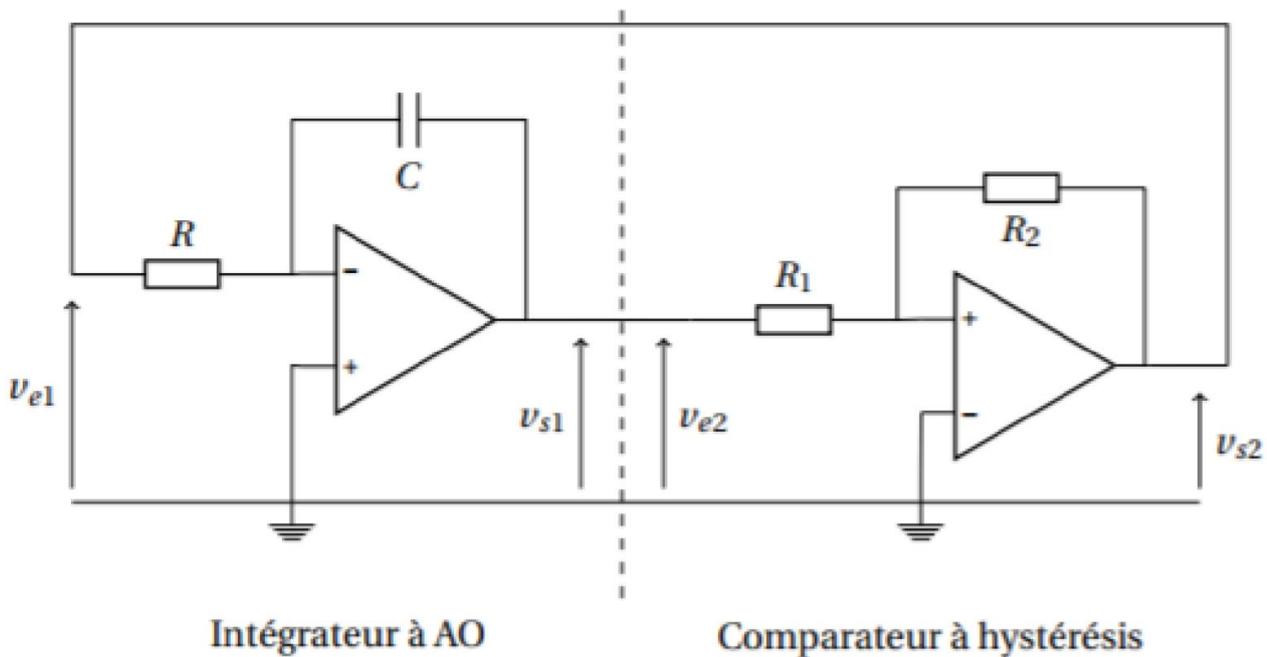


FIGURE 1 – Multivibrateur astable.

Le signal  $v_{s1}$  est un triangle d'amplitude  $\frac{R_1 V_{sat}}{R_2}$  et de fréquence  $\frac{4R_1 RC}{R_2}$ . Le signal  $v_{s2}$  est un rectangle d'amplitude  $V_{sat}$  et de même fréquence. On peut donc remonter à une valeur de capacité inconnue à l'aide de la fréquence d'un des deux signaux qui est proportionnelle à C.



### Multivibrateur astble

🔗 Duffait p.187

⌚ 23 min

En préparation : faire une courbe d'étalonnage de T en fonction de C. On peut comparer la valeur expérimentale de la pente obtenue avec celle attendue.

Ici, on rajoute juste un point à l'étalonnage devant le jury.

Maintenant que l'on a une méthode de mesure de capacité précise, on va essayer de déterminer la valeur de la capacité linéique d'un câble coaxial qui est un outil très utilisé en électronique.

### 3 Le câble coaxial

**Mesure de la capacité linéique d'un câble coaxiale à l'aide du multivibrateur astble**

☞ Duffait ⊖ 23 min

Maintenant que l'étalonnage du multivibrateur astable est prêt, on peut l'utiliser. On prend donc différentes longueurs de câbles coaxiaux et on mesure pour chaque longueur la capacité. On en déduit la capacité linéique d'un câble coaxial.

**Mesure de la capacité linéique d'un câble coaxiale**

☞ ⊖ 23 min

On peut aussi mesurer la capacité linéique d'une câble coaxial à l'aide de la vitesse de la propagation de l'information et l'impédance.

On rappelle qu'on a  $v = \frac{1}{\Gamma\Lambda}$  et  $Z = \frac{\Lambda}{\Gamma}$ .

Remarque : Il vaut mieux faire une seule mesure sur un câble long ! On évite ainsi les capacités parasites.

### Conclusion

Voici pour finir une petite manip. qualitative sur l'utilité des effets capacitifs.

Sans l'expérimentateur, le RLC-mètre mesure une capacité  $C_0$ . Avec l'expérimentateur :  $C = C_0 + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b}$ .

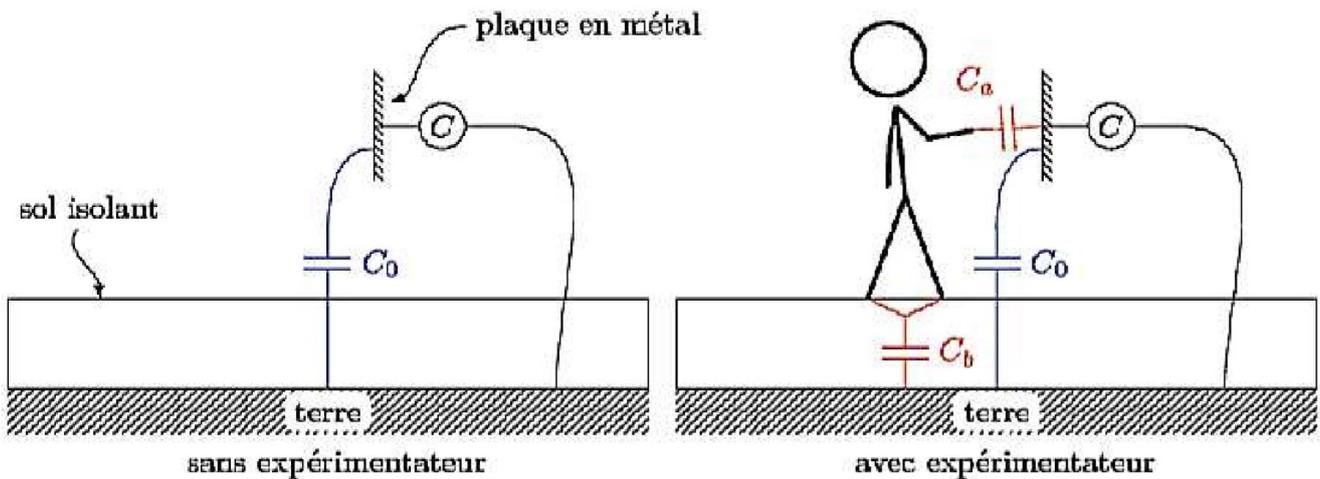


FIGURE 2 – Capteur de présence. L'expérimentateur rajoute des capacités.

## Détecteur de présence

⚡ 2 min

☹ Il suffit de rapprocher sa main d'une plaque de métal pour voir la valeur de la capacité variée. On peut s'amuser à annuler  $C_b$  en touchant la masse avec notre main.

## Questions

- Refaire la dernière manip qui avait loupé (première mesure pas bonne d'après Mr. Pagaud)
- Impédance du câble coaxial ? (50 ou 75) que se passe-t-il si on alterne 2 câbles d'impédances différentes (présence de réflexion etc) si on alterne exactement on a alors un signal périodique.
- 2 temps caractéristique du multivibrateur astable ? Période et AO (passage de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ ) du coup est-ce que multivibrateur astable utilisable dans toutes les gammes ? AO possède une capa on ne peut pas mesurer des capa trop faibles.
- Quelle gamme de capacité accessible ? (nF à mF)
- limite d'un condensateur ? Ex si il y a un diélectrique à l'intérieur ? cela ajoute une forte résistance .
- Pourquoi multiplier longueur de câble plutôt que de mesurer chaque longueur ? Gain de temps mais moins précis
- schéma du modèle du câble coaxial (ici avec pertes) ? (CF. Cours ondes)
- est-ce que l'inductance linéique aurait pu gêner ? Impédance infinie en sortie donc  $i$  faible donc Inductance influence peu
- Bobine se comporte comme inductance sur toute gamme de fréquence ? bobine réelle = bobine idéale + résistance + capa (en parallèle) à haute fréquence il ne reste que l'effet capacitif à prendre en compte à HF
- Fréquence de mesure du RLC mètre ? (KHz) Pertinence de cette fréquence ? RLC mètre fait osciller rapidement et mesure la tangente l'ordonnée à l'origine pour en déduire  $\tau$  (attention à la résistance du cas de la capa non idéale)
- pertinence de prendre dernier digit dans RLC mètre
- Utilisation des fils pour mesure de la tension en sortie du RLC mètre
- mesure de la vitesse de propagation d'un câble coax ? Manip classique
- Comment choisir composants du multivibra ? ( $R_2 > R_1$ ) et assez grande pour avoir une bonne pente
- pourquoi réponse indicielle de la diode ? (diode plus intéressante) Quelles autres méthodes que réponse indicielle : Temps de réponse ( $\tau$ ) pente à l'ordonnée à l'origine avantage de la réponse indicielle permet surtout de caractériser une fonction de transfert inconnue
- comment se fait le lissage ? Compromis moyenne pondérée par voisins proches
- comment éviter lissage (utilisation d'un filtre passe bas pour éviter bruit)
- pourquoi lisser avant la dérivée ? pour éviter d'avoir des énormes variations
- comment faire pour dérivée sans numérique ? (dérivateur) mais amplitude faible car pas la bonne gamme de fréquence
- comment a-t-il été choisi l'échantillonnage ? quels critères sont nécessaires ? (Critère de Shannon, pas trop de points pour éviter les points trop proches qui gênent la dérivée, temps d'acquisition très grands devant tout le reste (précision de l'échantillonnage))  
Avoir un grand temps pas nécessaire pour les deux autres méthodes (le faire à l'oscillo sûrement mieux)
- quelles hypothèses pour Aepinus ? Plaques chargées de la même manière, plaques infinies (pour effet de bords)
- Que se passe-t-il pour les lignes de champs sur les bords ? Capa diminue avec effets de bords
- Quelle surface prendre ? Une surface effective mais c'est mal définie

- $\epsilon_0$  tabulée ou théorique ? Théorique
- que faire pour éviter que la capa des cables jouent ? les fixées (fait)
- Odg de la capa d'une diode ? (100 pF)
- que se passe-t-il si on modifie la polarisation de la capa ? (Elle varie en  $\frac{1}{\sqrt{V}}$ ) Peut-être sympa de le faire varier dans la manip ?
- Quels parasites peuvent apparaitres ? Amperemetre (resistance) et cable coaxiale qui a des capa de l'ordre de grandeurs de celle de la diodes
- que change l'humidité de l'air ?  $\epsilon_r$
- $\epsilon_r$  de l'eau ? Dépend de ce qu'il y a (environ 70)
- Pertinence du RLC à 1kHz (par exemple dans un circuit à quelques Hz) ? Verifier la capa à la fréquence du circuit dans lequel on va la mettre
- Comment faire comprendre à un élève la notion de capacité ? Un barrage qui retient l'eau, ou un ressort  $k = \frac{1}{C}$
- Composant électrique qui utilise beaucoup cet effet ? Diapason à Quartz dans les montres
- Que faire avant de mesurer une capa ? Le décharger
- commenter l'acquisition Latis Pro ? bornes trop hautes sur l'écran

## Remarques

- Sur la forme il manquait les valeurs des composantes, les hypothèses sur le tableau, modèle du cable coaxial , sinon tableau assez clair. Sur multi peut-etre mieux de separer les blocs
- Multivibrateur analogue à vale de tantal en hydrodynamique
- Bien de donner def d'une capa en introduction mais le rendre plus accessible (analogie) peut -etre plus pertinent et definir ce que c'est qu'une capacité ou partir du concret pour arriver aux modeles
- Aepinus indispensable bien fait mais déterminer  $\epsilon_{0}$  pause probleme mieux vaut déterminer  $\epsilon_{r}$  du plexiglas pour montrer effet du dielectrique qui le compose. Pareil c'est un bon capteur de distance et de présence (capa varie si on approche la main)
- S pas vraiment connue peut-etre mieux remonter à  $\epsilon_{0} S_{effective}$  peut-être juste comparer pente à un ordre de grandeur et dire que la loi est vérifiée
- si e diminue drastiquement on a un probleme pourquoi ? Pas parfaitement paralleles et le modele n'es plus valable
- Excell bien pour proba d'incertitude
- Methode indicielle pas ouf et Diode interessant si on change la polarité reste interessant de voir un effet de capacité . **Utiliser le temps de reponse**
- attention aux capa parasites
- remonter à la pente pas vraiment pertinent utiliser le multivibrateur astable comme droite etalon
- manip critiquables car toujours plusieurs temps caractéristiques
- parler un peu plus des effets positifs et négatifs des capa avoir conscience des limites de ces manip liées aux temps caractéristiques
- preciser où est le point ajouté sur la droite
- incertitudes bien gérées
- Faire qu'une seule fois la manip

## Biblio recommandée

Les Capteurs en instrumentation industrielle *Ash*

## manip surprise

Mesurer la viscosité d'un fluide

Faire tomber la bille mesurer temps de chute et vitesses limite On a besoin de la masse ou de  $\rho$

PFD : à l'équilibre

$$\Delta\rho\frac{4}{3}\pi R^3 = 6\pi\eta Rv_{infinie}$$

$$v_{infinie} = \frac{2\Delta\rho R^2 g}{9\eta}$$

Eviter effets de Bords Hyp de Stockes : milieu infinie et laminaire (sinon  $v^2$ )

$$F = 6\pi\eta Rv$$