

# MP19 - Effets capacitifs

Cléments (DE LA SALLE + COLLÉAUX)

24 avril 2020

Niveau : L3

## Bibliographie

- ⚡ *Expériences d'électronique (Agreg)* → Solide
- Duffait
- ⚡ Quaranta IV →

## Prérequis

➤

## Expériences

👤

## Table des matières

Table des matières	1
<b>1 Modèle du condensateur</b>	<b>2</b>
1.1 AEPINUS . . . . .	2
<b>2 Mesures de capacité</b>	<b>3</b>
2.1 Présentation du multivibrateur astable (qualitatif) . . . . .	3
2.2 Mesure d'une capacité linéique d'un câble coaxial . . . . .	4
2.3 Filtre RC . . . . .	5
2.4 Mesure de la capacité d'une jonction PN . . . . .	5
<b>3 Applications</b>	<b>6</b>
3.1 Mesure du niveau d'eau . . . . .	6
3.2 La thérémine . . . . .	6

# Introduction

Les effets capacitifs c'est cool, sinon la thérémine ne pourrait pas exister :(

## 1 Modèle du condensateur

### 1.1 AEPINUS

**But**

Présenter le modèle du condensateur et vérifier la loi  $C(e)$

Un condensateur est un ensemble de conducteurs (les armatures) séparés par un isolant diélectrique, permettant d'accumuler des charges électriques sur ceux-ci si une différence de potentiel leur est imposée. La façon la plus simple d'en construire un est donc de placer deux plaques métalliques en regard. Dans ce cas, la capacité de ce système est :

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

où  $S$  désigne la surface des plaques métalliques,  $e$  l'écartement entre elles, et  $\epsilon_r$  la permittivité diélectrique relative du matériau. Cette formule est valable à condition de négliger les effets de bords, c'est-à-dire si  $S \gg e^2$ .

Nous allons chercher à vérifier la loi d'évolution de  $C$  en fonction de  $e$  ! Pour cela, nous utilisons ce dispositif de deux plaques en regard en utilisant une différence de potentiel.

#### Expérience : Vérification de la loi $C(e)$

⚡ Quaranta IV, p.117

⊖ ?

- En préparation, avoir branché le condensateur d'Aepinus P68.1 et scotchant les cables loin du condensateur pour ne pas interférer avec la mesure de la capacité.
- En utilisant un RLCmètre Voltcraft P69.33 mesurer la capacité pour plusieurs épaisseurs  $e$  en laissant la place pour une mesure à une épaisseur intermédiaire
- Faire la mesure en direct devant le jury (ou plutôt devant la vidéo caméra de la visioconférence)
- Tracer  $C(1/e)$  et modéliser ça par une fonction affine avec une ordonnée à l'origine qui prend en compte la résistance parasite des fils extérieurs et de coefficient directeur  $\epsilon_0 \epsilon_r S$ . On peut d'ailleurs remonter à  $\epsilon_r$  de l'air qui doit valoir 1
- Aux  $e$  inetrmédiaires, la condition  $S \gg e^2$  est respectée et c'est bien linéaires, quand  $e$  augmente trop c'est plus le cas et pour  $e$  trop faible c'est plus linéaire non plus car les plaques sont trop rapprochées donc les charges voitles défauts de planéité.
- Si y a du temps, en qualitatif, on peut ajouter une plaque de diélectrique, du verre, pour montrer l'effet sur  $C$

#### RLC-mètre

C'est important de savoir comment ça marche, ce site est sympa.

## 2 Mesures de capacité

On choisit soit les deux premières sous-sections, soit les deux deuxièmes...

### 2.1 Présentation du multivibrateur astable (qualitatif)

♣ *Duffait p.187*

♣ *Duffait p.95* pour le comparateur à hystérésis

♣ *Wikipédia*

On va illustrer ici le fait que le condensateur peut stocker de l'énergie puis la céder au circuit, ceci à travers une évolution périodique de stockage / vidange.

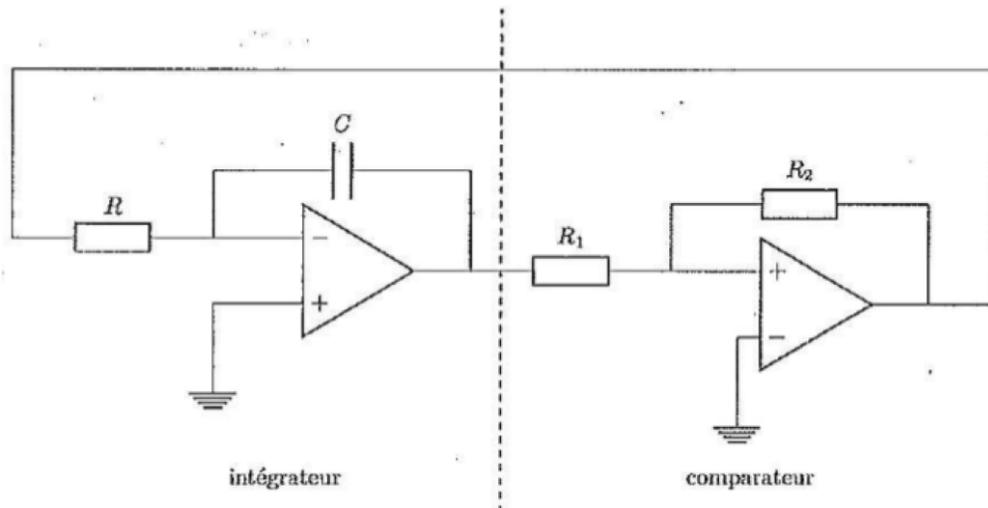


FIGURE 2.1 – Montage du multivibrateur astable

On utilise pour ça un **multivibrateur astable**. Ce montage utilise le condensateur dans un intégrateur, lui intégré dans un oscillateur à relaxation (succesion de charge / décharge). Cet oscillateur est constitué de l'intégrateur (inversuer) et d'un comparateur à hystérésis de seuil  $V_0 = \frac{R_1}{R_2}U$  juste après, voici son fonctionnement :

- Le comparateur à hystérésis ne peut délivrer que  $\pm U = \pm 15$  V, supposons qu'initialement, il donne  $U = +15$  V.
- Le signal intégré est donc une pente  $v(t) = -U/RC t$  : le condensateur se charge
- Lorsque  $v$  atteint le seuil du comparateur  $-V_0$ , celui-ci bascule et envoie  $-U$
- Alors le signal intégré remonte et le condensateur se décharge :  $v(t) = +U/RC t$
- À nouveau, la tension va franchir le seuil et le condensateur va se recharger...

Ainsi le temps d'une montée de  $2V_0$  est une demie période donc

$$\frac{2V_0}{T/2} = \text{pente} = \frac{U}{RC} \implies T = 4 \frac{R_1}{R_2} RC$$

Donc la mesure de  $T$  nous donne la valeur de  $C$  ! Rappelons physiquement pourquoi un tel lien est logique : la capacité est liée à la charge stockage sur les plaques. Donc avec une plus grande capacité, on peut stocker de plus grandes charges, donc il faudra plus de temps pour atteindre le seuil.

### Expérience : Démo

🔗 Duffait p.187

⌚ 2 min

Juste faire le montage et observer sur deux voies les signaux aux sorties de l'intégrateur (triangle) et du comparateur (créneau). Faire varier quelques paramètres (surtout  $C$  avec une boîte appropriée en fait) pour vérifier leur influence qualitative.

On peut rendre cette expérience plus quantitative en faisant une régression de  $T$  avec  $C$

## 2.2 Mesure d'une capacité linéique d'un câble coaxial

### Expérience : Mesure de la capa d'un coax

🔗 ?

⌚ 10 min

Utiliser un câble du plancart P58 dont on connaît la longueur  $L$  et le brancher sur le montage précédent. Mesurer sa capa en une mesure unique et diviser par la longueur pour avoir la capacité linéique.

#### Incertitudes

On doit utiliser un autre câble coax pour faire le branchement, prendre une incertitude sur  $L$  de l'ordre de la longueur de ce deuxième câble. Pour les autres paramètres, mesurer évidemment les résistances à l'Ohmmètre et prendre l'incertitude de la notice.

$$\frac{u(C)}{C} = \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u(R_1)}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{u(R_2)}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

Mais si jamais on a fait la version quantitative de l'expérience précédente, prendre l'incertitude donnée par l'étalonnage.

#### Autre méthode

C'est pas vraiment la méthode standard pour mesure une capacité linéique... Ce qu'on fait plus souvent, c'est envoyer des bursts et trouver l'impédance de sortie qui s'adapte au câble, de sorte que la réflexion soit annulée 🔗 *Quaranta IV à Lignes électriques*. On accède de plus à la vitesse de propagation, ce qui nous permet de remonter à la capacité linéique  $\Gamma$  :

$$\begin{cases} Z = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}} \\ c = \frac{1}{\sqrt{\Lambda\Gamma}} \end{cases} \implies \Gamma = \frac{1}{cZ}$$

## 2.3 Filtre RC

On ne fait pas avec la résonance d'un RLC car c'est la merde, faut mesurer  $L$  et ça part en couilles.

Pour un filtre  $RC$ , on a une fonction de transfert :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

### Expérience : Diagramme de BODE

🔗 Izi win

⌚ 2 min

Faire un diagramme de BODE par réponse indicielle et le modéliser sur LatisPro pour extraire la pulsation de coupure  $1/RC$  (deux tangentes ou régression). On mesure précisément  $R$  à l'ohmmètre et c'est GG.

On peut aussi tout simplement chercher la fréquence à laquelle on a  $U_s = 1/\sqrt{2} U_e$ .

Ne pas utiliser de câble coax !

### Réponse indicielle

Quelques rappels... Pour un SLIT

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t-t')e(t') dt'$$

Donc pour une entrée HEAVISIDE

$$s_{ind}(t) = \int_0^{+\infty} h(t-t') dt'$$

Et par causalité

$$s_{ind}(t) = \int_0^t h(t') dt'$$

Donc on peut obtenir à grand coup de lissage / dérivation / TF (en amplitude!)

$$|H(j\omega)| = \left| \text{TF} \frac{ds_{ind}}{dt} \right|$$

## 2.4 Mesure de la capacité d'une jonction PN

Une diode est une jonction PN : un contact entre deux matériaux semi-conducteurs (type germanium), un dopé négativement (avec plus d'électron, Arsenic) et un dopé positivement (avec plus de trous, genre Gallium). Lorsqu'on les met en contact, il y a égalisation des niveaux de Fermi, les électrons passent du côté dopé P laissant des ions positifs. À l'équilibre, on a donc une zone de charge d'espace, et donc un potentiel de jonction. Ce qui nous intéresse ici c'est qu'on a une accumulation des charges, et donc un comportement analogue à celui d'un condensateur. On se propose de mesurer cette capacité à partir de la fréquence de coupure d'un filtre RC.

## Expérience : Mesure de capacité d'une jonction PN

➤ Maneville p.141

⌚ 10 min

On applique la méthode choisie à la mesure de la capacité d'une jonction PN.

**Matériel** : Diode Zener, résistance de  $10k\Omega$ . On utilise les sondes pour l'oscillo car l'influence de la capa de l'oscillo (130pF environ) est assez importante.

Qualitativement, on montre le comportement passe-bas du circuit (très important de faire ça pour justifier ce que l'on fait).

On polarise la diode en inverse avec un offset variable de 1Vpp à 9Vpp, signal de 500mVpp. En modifiant l'offset, on fait varier la capa (la capa diminue car la taille de la zone de déplétion augmente avec l'offset).

## 3 Applications

### 3.1 Mesure du niveau d'eau

➤ *MP04 - Capteurs de grandeurs mécaniques*

### 3.2 La thérémine

Présenter ça sur le ton de la conclusion...

<https://youtu.be/wBU3waTWrv8> pour une démo à 1'34"...

<https://etheremin.com/informations/fonctionnement/> pour le fonctionnement.

[https://odpf.org/images/archives\\_docs/18eme/memoires/gr-19/memoire.pdf](https://odpf.org/images/archives_docs/18eme/memoires/gr-19/memoire.pdf) encore pour le fonctionnement