

M19 : Effets capacitifs

Remarque jury :

- La connaissance du principe d'un RLC mètre est essentielle dans ce montage.
- Le montage ne se résume pas à l'étude du circuit RC. 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.
- Il est souhaitable que les candidats ne se limitent pas à l'étude du condensateur d'Aepinus et au circuit R-C.

→ Il manque peut-être une manip dans ce montage, à voir niveau temps. Peut-être faire soit I (manip quali) ou IV (manip quanti) ?? Il faut peut-être placer la manip IV avant celle de la photodiode (pour avoir un fil conducteur).

Introduction

I - Mise en évidence de la condensation de l'électricité

M19 - manip I.1 : Condensateur d'Aepinus + Fleury Mathieu : Électrostatique, Courants continu, Magnétisme p.81

Montage:

-Alimentation haute tension (interrupteur doit avoir des contacts protégés, pas de contact à l'air libre, borne + reliée au plateau isolé fixe et les plateaux ne doivent pas se toucher → court-circuit).

Expérience très sensible.

-On règle l'écartement à quelques mm, on ferme K et on applique une tension d'environ 2 kV, les feuilles doivent s'écarter et rester dans cet état lorsque l'on ouvre K. Si on rapproche les 2 plateaux, les feuilles se rapprochent.

Explication : On charge positivement et uniformément le plateau fixe et les 2 feuilles, les feuilles s'écartent l'une de l'autre par répulsion entre charges de même signe.

-On ouvre K, on travaille donc à charge Q constante.

-La répulsion entre les feuilles diminue quand on rapproche le plateau mobile, car des charges positives présentes sur les feuilles sont parties pour aller se "condenser" sur le plateau du condensateur, car le plateau + est plus proche du plateau -, il y a donc une attraction électrostatique plus forte. (Quantité de charge stockée initialement sur les feuilles est très faible comparée à celle stockée sur le plateau (dû à la différence de taille..))

→ L'écartement des feuilles donne une image de la différence de potentiel V de l'ensemble. Si les feuilles se rapprochent quand les plateaux se rapprochent cela montre que V a diminué, comme $Q=C.V$ et que Q est constant, c'est alors le signe d'une augmentation de la capacité à accumuler des charges.

II - Charge condensateur

On cherche à déterminer la charge emmagasinée par un condensateur chargé sous une tension U constante. Pour ce faire, on étudie la décharge de cette capacité dans une résistance R . A noter que l'accumulation des charges est due à la capacité.

Montage - Poly M19 - I.2

La résistance $1k\Omega$ sert à limiter le courant de charge. On choisit une constante de temps assez élevée pour faciliter l'acquisition. La résistance de mesure R étant importante, on place un montage suiveur avant la carte d'acquisition pour que le condensateur se décharge exclusivement dans R (impédance d'entrée de la carte = 1 MOhm .)

-On charge le condensateur sous la tension continue (5V) puis lancement de l'acquisition : tension en fonction du temps \rightarrow bascule l'interrupteur sur $R \rightarrow$ baisse de tension \rightarrow décharge du condensateur (et donc la charge augmente).

Exemple pour l'acquisition : $N_{\text{points}}=5000$, $T_{\text{éch}}=1\text{ms}$, $T_{\text{total}}=5\text{s}$ (il est nécessaire de choisir un temps d'acquisition convenable compte tenu du τ)

1) Détermination de la valeur C

On illustre la capacité du condensateur à accumuler des charges et on trouve le lien entre la tension aux bornes de R et les charges accumulées.

On peut tracer l'évolution temporelle de U (aux bornes de R) et de Q .

Dans Latis Pro, on met : $Q=\text{INTEG}(I,T)$ avec $I = EA1/R$

(On a : $i = dq/dt = U_R/R$ d'où $Q = \int U_R/R dt$)

Avec les valeurs de U et Q obtenues à l'aide des tracés de leur évolution temporelle, on en déduit C .

On compare à la valeur mesurée au RLC mètre.

2) Energie stockée

Poly M19 - I.4

Un condensateur chargé sous une tension U emmagasine une énergie $E=C.U^2/2$.

La puissance dissipée dans la résistance vaut $R.i^2$ et donc l'énergie s'en déduit par intégration.

On trace l'évolution temporelle de l'énergie avec $P = R*i^2$ et $E=\text{INTEG}(P,T)$

On lit sur le graphe la valeur de l'énergie dissipée. Celle-ci doit correspondre à l'énergie emmagasinée qu'on peut calculer avec les valeurs de C et U déduites juste avant

On compare le résultat, à la valeur attendue.

III – Effet capacitif dans une photodiode

\rightarrow voir schéma poly M12 Photorécepteurs I-6 (agreg Rennes)

Le processus de diffusion des charges P et N à l'interface entre les 2 milieux crée une zone dépourvue de charge libre (zone de déplétion) \rightarrow on a donc une structure de type capacitif (2 milieux conducteurs séparés par un isolant) qui limite les performances dynamiques du circuit de mesure via la constante $\tau=RC_{\text{ph}}$. Le circuit de détection est rapide, il faut donc

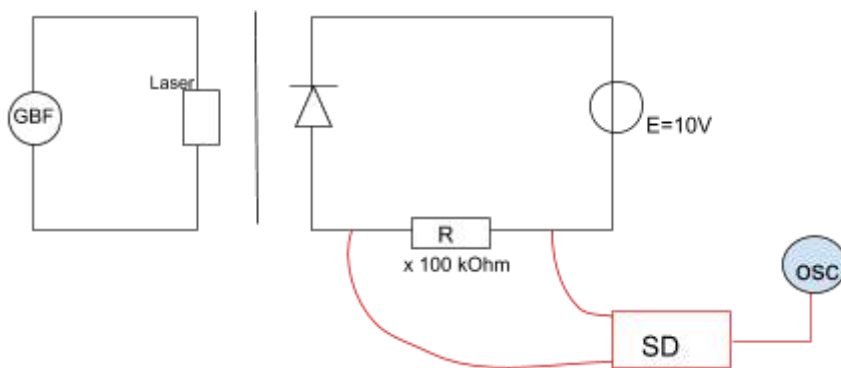
limiter les capacités parasites pour éviter qu'elles augmentent le temps de réponse du circuit, afin d'obtenir au plus proche le temps de réponse de la photodiode.

- Moduler une diode (relié à une résistance 1kOhm) ou diode laser par un signal numérique sortie d'un GBF (sortie SYNC – environ 10V : **prendre une tension (V) au préalable tabulée pour C**).

-Utilisation de filtre gris, car la capacité dépend de la tension à ses bornes, il faut donc ajuster le flux lumineux pour que la tension à mesurer reste faible.

- Utilisation d'une sonde différentielle (voir notice pour sa résistance interne élevée - qui permet de moins perturber le système - et permet de s'affranchir de la résistance d'entrée de l'oscilloscope (cf schéma), intéressant car effet capacité moindre lorsqu'on voudra déterminer au plus près la capacité de la photodiode.)

-Éviter les résistances dans les boîtiers métalliques (boite à décades, boite AOIP..) qui augmentent le temps de réponse, et préférer celles dans une plaque de PVC.



-Détecter à l'aide d'une photodiode polarisée en inverse (alimentation côté bloquant : 0V côté Anode, 12V coté cathode) en série avec une résistance ($R=100\text{ kOhm}$ assez grand car $\tau=RC_{ph}$ pour la photodiode et C qql pF , et on veut négliger le temps de réponse de la diode/laser qui est non nulle mais très faible, on augmente ainsi le temps de réponse de la photodiode pour qu'il soit plus grand que celui du laser).

-On étudie le temps de réponse (or $t_{\text{descente}} = t_{90} - t_{10} = \tau \cdot \ln(9) = R_{\text{vraie}} \cdot C_{\text{vraie}}$, bien avoir sur l'oscillo la descente totale) du dispositif en fonction de la résistance R_{vraie} (on fait varier R , ce qui modifie R_{vraie}).

On montre que le temps n'est pas influencé par le temps de basculement de la diode (allumé/éteint), le temps de réponse (régime transitoire) est alors bien lié au capteur (la photodiode) et non à l'émetteur si on obtient une droite.

-On peut ensuite tracer τ en fonction de R_{vraie} sur Regressi

Attention : pour avoir R_{vraie} , on a une addition $1/R$ car en parallèle. Ici, on a $R_{\text{vraie}} = R_{\text{mesure}} \cdot R_{\text{sonde}} / (R_{\text{mesure}} + R_{\text{sonde}})$.

De + pour τ , bien convertir car on a : $t_{\text{descente}} = \tau \cdot \ln(9)$

-On retrouve C_{vrai} avec le coefficient directeur de la droite. On peut ainsi ensuite calculer la valeur de $C_{\text{photodiode}}$ ($C_{\text{vrai}} = C_{\text{photodiode}} + C_{\text{oscillo}} + C_{\text{autre}}$) → comparer avec la notice. (on peut certainement dire que $C_{\text{vrai}} \sim C_{\text{photodiode}}$ directement)

(**A savoir** : le temps de réponse correspond à 95%, ce qui équivaut à 3τ .)

→ Possibilité de discuter des effets capacitifs :

- d'un câble coaxial → mesure de la capacité du câble (comparaison au RLC mètre de la mesure de $C_{\text{coaxe.}}$). Attention R_{vraie} différente par rapport au cas de la sonde diff (on doit considérer aussi R_{oscillo}).

Pour avoir sa capacité : $C_2/C_1 = Td2/Td1$ → On peut en déduire C_2 .

(la longueur des fils → prendre plus court possible sinon temps de descente augmente.)

Dans ce cas, les effets capacitifs viennent limiter les performances des instruments de détection → Inconvénients des effets capacitifs.

-Étudier l'influence de la tension aux bornes de la photodiode. On fixe R, et on mesure le temps de descente pour différentes valeurs de tension de polarisation inverse (penser à ajuster le taux du filtre gris en fonction de la tension). On trace C en fonction de la tension : la capacité est d'autant plus faible, donc que le circuit est d'autant plus rapide, que la tension est forte.

Remarque : Il faut noter l'incompatibilité entre rapidité et sensibilité. Si on veut un détecteur rapide, il faut polariser fortement la photodiode en inverse pour diminuer C et prendre une résistance de mesure R minimum mais la tension à détecter est alors très faible. Si on veut des signaux plus forts, il faut augmenter R mais on perd en vitesse.

Attention :

- Si on utilise une diode laser , il faut utiliser un filtre gris.

-A l'oscillo signal entrée GBF + signal sortie sur résistance R car relié à la tension (courant photo induit) et pas sur la photodiode !

- Bien prendre en compte toutes les capacités (qui s'additionnent), celle de la diode (regarder dans la notice), celle des câbles (éviter autant que faire se peut les coaxiaux qui sont capacitifs), celle de l'oscillo.

IV- Mesure de la capacité par la mesure de la période d'un oscillateur

Poly M19 - II.1

On réalise un oscillateur de relaxation dont la période dépend de la valeur de la capacité. Ce montage à l'intérêt de mettre à profit un effet capacitif fondamental : le retard à l'établissement d'une tension.

Principe montage: Duffait : Expériences d'électronique à l'agrégation p.189 ou Quaranta IV : l'électricité p.126.

-On visualise V_e et V_s à l'oscilloscope

-On compare la tension aux bornes + et - de l'AOP pour observer la différence de comportement entre la branche purement résistive et celle contenant la capacité.

→ On met $R=5000 \text{ Ohm}$ et $C=1\mu\text{F}$

- On mesure la période de V_s .
- On en déduit la valeur de C : $T=2RC \cdot \ln(3)$
- On compare le résultat à la valeur mesurée au RLC mètre ou au capacimètre.
- On met $R=5000 \text{ Ohm}$ et $C=0,04 \mu\text{F}$

Conclusion:

On a étudié les effets capacitifs et les paramètres les influençant : avantage (stockage d'énergie) et inconvénient (capacités parasites).

Questions:

- Quelles hypothèses sont nécessaires pour dire que $C = \epsilon_0 \epsilon_r S/e$? on néglige les effets de bord ; si on ne les néglige pas, est-ce qu'on sous estime C par la formule ci-dessus ?
- Comment fait l'oscillo pour mesurer le déphasage?
- Pour le capacimètre, qu'est-ce qui limite la mesure ? Quelle est la plus petite valeur de capacité qu'on peut mesurer ?
- Connaissez-vous la valeur du ϵ_r de l'eau ? Donner un ordre de grandeur de l'influence de l'eau avec une humidité de 100%.
- Vous avez mesuré la capacité parasite du câble coaxial. Comment aurait été modifiée sa valeur si on l'avait mesuré au point moitié ?
- Est-ce que C dépend de la fréquence ?
- Comment varie C si on incline les armatures du condensateur d'Aepinus ?
- Est-ce gênant que les pertes dû aux effets de bords varient en fonction de la distance entre les armatures ?