Rapport de correction – Montage de physique

Préparation à l'oral de l'agrégation externe de physique – Session 2021

MP 25 : *Effets capacitifs.*

- Date et horaire : Jeudi 3 décembre 2020
- Présentateur : NICOLAS BARROS (Bin 06)
- Correcteurs : AMÉLIE CHARDAC, HERVÉ GAYVALLET

(Présentation filmée par le binôme et suivie à distance par la promotion.)

Plan du montage présenté.

1. Introduction (oralement).
2. Modèle du condensateur : condensateur d'ÆPINUS.
3. Mesure de capacités.
   - En la faisant intervenir dans un filtre.
   - En la faisant intervenir dans un oscillateur (multivibrateur astable).
   - Exemple avec une capacité bien identifiée.
   - Détermination de la capacité d'un câble coaxial.
   - Détermination de la capacité "parasite" d'une bobine.
4. Application (non présentée).
   - Suivi de l'évolution d'un niveau d'eau à l'aide d'un capteur a effet capacitif.
5. Conclusion.

Remarques générales.

1. L'exposé a été conduit avec dynamisme et les expériences ont été bien présentées.
2. Penser que le jour J il n'est pas garanti que la salle de présentation dispose de deux grands tableaux, il faut donc s'y préparer.
3. La dernière expérience n'aurait pas pu être présentée faute de temps (hors du fait que le matériel était déficient). Pour gagner un peu de temps, après avoir présenté le calcul d'incertitude relatif à la première expérience, on peut se contenter, pour les suivantes, de donner directement le résultat.
4. Comme cela a été bien compris, le titre, volontairement vague, nécessite de définir ce qu'il faut entendre par "effets capacitifs". Soit la capacité est clairement identifiée et il s'agit de la mesurer (le mieux possible, en se plaçant dans les meilleures conditions expérimentales). Soit elle se manifeste de façon *a priori* inattendue et plus ou moins discrète. Dans ce dernier cas il convient tout d'abord d'indiquer comment elle se manifeste et quelles peuvent en être les conséquences. Cela conduit naturellement à réfléchir sur les conditions les plus favorables à sa manifestation. Il a été présenté la mesure de deux capacités "parasites", par contre il n'a pas été mentionné en quoi chacune d'elles était qualifiable de "parasite".
5. On peut encore envisager une troisième situation ; le cas où l'impédance d'un dipôle, identifié comme une capacité, présente une composante résistive dont l'importance relative (caractérisée par l'angle de perte) dépend alors (généralement) de la fréquence ($\varepsilon(i\omega)$ complexe). C'est effet n'étant sensible qu'en "haute" fréquence, sa mise en évidence expérimental est plus délicate.

6. Ne pas oublier de commenter, brièvement mais clairement, chacun des schémas d'expérience représenté au tableau (principe, contraintes et choix des composants et du protocole opératoire qui en résultent, limites éventuelles et donc vue sur les améliorations qui seraient à apporter le cas échéant,...). On ne peut analyser et commenter pertinemment un résultat que si l'on a une bonne connaissance du système étudié (expérience et instrumentation). Cette étape a fait systématiquement défaut dans cette présentation.

Remarques détaillées.

1. Dans la mesure où cette étude porte sur les effets capacitifs il serait de bon ton de préciser, avant tout, ce qu'est une capacité. Par exemple, en traçant la caractéristique charge–tension $Q = Q(V)$, en se restreignant aux cas où C ne dépend pas de V. Notons qu'il est alors exclu d'utiliser un intégrateur ($i \rightarrow Q$) mettant, lui-même, en œuvre un condensateur !

2. Condensateur d'ÆPINUS.
Il a été évoqué que les effets de bord étaient responsables d'une déviation à la relation $C = \varepsilon S/e$, lorsque la distance e entre les plaques devenait trop important et les défauts de surface et de parallélisme (surtout, sans doute) lorsqu'elle devenait trop faible. Il est nécessaire d'expliquer chacun de ces phénomènes. Dans le premier cas, en représentant les lignes de champ (notons que lorsque $e \gg \sqrt{S}$ elles tendent vers celles d'un dipôle). Dans le second cas, en expliquant l'influence d'un défaut de géométrie des plaques sur la répartition des charges à leur surface (ce qui peut être rapproché de l'effet de pointe). Cette analyse devrait permettre de prévoir dans quel sens (défaut ou excès) on s'éloigne alors de la relation $C = \varepsilon S/e$.

Il est apparu, au vu des incertitudes de mesure, qu'il était inenvisageable d'accéder à la permittivité relative de l'air (en revanche, dans le cas d'un diélectrique dense (eau, PVC, Plexiglass,...) ε_r devient mesurable). C'est un peu décevant. Pourquoi ne pas plutôt chercher à atteindre ε_0 ?

3. Détermination d'une capacité à partir du comportement d'un filtre (en l'occurrence un filtre *RC* passe-bas). Dans cette expérience la capacité est associée à une résistance "étalon" afin de faire apparaître un temps caractéristique qui permettra d'accéder (dans le domaine temporel ou le domaine fréquentiel) à la valeur de la capacité. Plutôt que de construire un filtre du premier ordre ("mou") il serait préférable de construire un circuit résonant (bobine et capacité) présentant un facteur de qualité élevé. La résolution en fréquence de la situation du pic de résonance d'intensité est meilleure (LISSAJOUS courant-tension). Naturellement, la précision de la "mesure" de la capacité dépend ici de celle avec laquelle l'inductance de la bobine est connue.

4. Oscillateur de relaxation.
On ne doit pas se contenter de declarer que le système "oscille tout seul" (d'ailleurs, garder à l'esprit que l'énergie dissipée est compensée par les éléments actifs du montage, l'alimentation continue joue donc son rôle, discrètement, en arrière-plan !). Il faut justifier que la structure présentée est effectivement susceptible de faire apparaître des oscillations (par exemple : Sortie du comparateur à hystérésis à l'état haut, conséquence sur la sortie de l'intégrateur-inverseur, conséquence sur la sortie du comparateur à hystérésis). De même, il faut être en mesure de donner l'allure de la caractéristique entrée-sortie du comparateur et d'indiquer comment s'établit la relation conditionnant son basculement.

Pourquoi choisir un oscillateur de relation pour caractériser une capacité plutôt qu'un oscillateur linéaire (par exemple l'oscillateur *RLC* en série avec un dipôle à résistance négative) ?

• Remarque : Le comparateur à hystérésis fonctionne en régime saturé, la chute de potentiel à travers la résistance de sortie de l'AO n'est donc pas compensée comme dans le cas d'un système bouclé (stable). La tension de sortie du comparateur dépend alors du courant qu'il débite, lui même dépendant de la charge. Si cette dernière est élevée les créneaux de sortie se déforment.

5. Capacité linéique d'un câble coaxial.
Là encore il faut justifier le modèle adopté pour décrire le comportement électrique du câble. Il faut être en mesure d'expliquer comment accéder théoriquement, à partir des caractéristiques physiques et géométriques du câble, à l'expression de son inductance et de sa capacité (cela permettrait d'ailleurs d'en estimer leurs ordres de grandeur en vue de les comparer aux valeurs mesurées). On peut également s'interroger sur le

choix de la situation de l'inductance et la capacité linéiques dans le modèle, ou quel serait l'analogue mécanique d'un câble... .

Notons que, de ce modèle, il apparaît que la mesure de la capacité du câble, à l'aide d'un multimètre, doit s'effectuer câble ouvert et celle de son inductance s'effectuer câble en court-circuit.

• Remarque : Le modèle adopté est non dissipatif (seulement des composants réactifs) pourtant il conduit à une impédance itérative qui, elle, est purement réelle. Un générateur connecté à un câble "infini" le perçoit donc comme une résistance. Pourquoi ?

6. Capacité d'une bobine.
Comme toujours, avant tout il faut expliquer quel est l'origine de l'effet capacitif révélé par le comportement d'une bobine (ddp apparaissant, par effets ohmique et inductif, entre deux spires jointives, séparées par un diélectrique (verni)). Il faut ensuite proposer un modèle électrique de la bobine prenant en compte cet effet en plaçant trois composants R, L et C (*a priori*) de façon qui paraît la plus appropriée. Il faut enfin s'assurer (ou vérifier) que ce modèle décrit bien le comportement de la bobine dans des situations limites connues.

Le modèle qui a été adopté dans ce montage ne permettait pas de retrouver celui connu (R en série avec L) en régime continu [1]. Le courant responsable de la dissipation et celui de l'effet inductif sont les mêmes (pour une bobine sans noyau) [2]. R et L doivent donc être placées en série (et non en parallèle). Se pose ensuite le problème du choix du branchement de C. L'origine de l'effet capacitif incite à placer C plutôt en parallèle sur le groupement série $R-L$.

Enfin, il faut se convaincre que l'effet capacitif observé n'est pas "simplement" celui des câbles de liaison.

7. Autres effets capacitfs "parasites" qu'il est envisageable de mettre en évidence (et que chacune et chacun a déjà eu l'occasion d'observer), voire de caractériser.

• Capacité d'une jonction PN. L'effet capacitif d'une jonction se manifeste, en particulier, lors du tracé de sa caractéristique $I = I(V)$ hors du régime quasistatique. La présence de la capacité de transition (polarisation inverse) est mise à profit dans les diodes Varicap (en particulier) pour réaliser une capacité dont la valeur peut être ajustée par une différence de potentiel (V_{PN}). Notons que les effets capacitifs sont plus marqués dans une diode de redressement (section plus importante) que dans une diode "signal" qui a vocation d'être "rapide".

Notons que cet effet se manifeste par l'apparition d'un temps caractéristique. Ce dernier fait naturellement intervenir la capacité parasite à déterminer mais également la résistance de polarisation du circuit ($\tau = RC$).

• Effet MILLER : Il s'agit encore d'une capacité de jonction (jonction base-collecteur, polarisée en inverse (normalement)). Cet effet est responsable de la coupure haute fréquence d'un étage d'amplificteur émetteur commun. Cette fréquence de coupure baisse d'autant plus que le gain est élevé (produit gain$\times$bande passante $\sim$ Cste). Se reporter au schéma petit signal haute fréquence de GIACOLETTO.

8. Suivi d'un niveau d'eau par capteur capacitif (expérience finalement non présentée).
Ici encore, après avoir expliqué le principe de la détection de hauteur d'eau, il faut préciser pourquoi on choisit plutôt un filtre passe-haut qu'un filtre passe-bas et comment on choisit les valeurs de ses composants. Notons que tout ce qui se situe en aval du filtre n'a pour pour seule fonction que de "convertir" un signal harmonique et tension continue. À chacune et chacun de juger, selon le contexte imaginé dans lequel est placé ce détecteur, de l'opportunité de le faire apparaître dans le montage.

Expérience improvisée.

Il s'agissait de caractériser la participation de la masse propre d'un ressort à la période d'oscillation d'une masse suspendue à l'une de ses extrémités.

Un protocole opératoire a été rapidement trouvé. Les mesures ont été bien réalisées (compte tenu des moyens modestes mis à sa disposition).

1. Il était toutefois précisé qu'il s'agissait d'un modèle haute fréquence. Mais il faut alors indiquer quel rôle joue la fréquence dans la structure du modèle et que représente alors la résistance placée en parallèle.
2. Pour une bobine comportant un noyau, siège de courants de FOUCAULT, le modèle doit comporter deux résistances.

⋆ ⋆
⋆