

LES CAPACITÉS INTER-ÉLECTRODES

par Edouard JOUANNEAU

Tout le monde sait que les lampes de T. S. F. présentent des capacités inter-électrodes, qui sont responsables de certains phénomènes gênants. Mais quel est exactement le rôle dévolu à chaque capacité élémentaire ? C'est ce que nous allons essayer d'indiquer ici.

Et d'abord, pourquoi existe-t-il des capacités parasites à l'intérieur des tubes ? La réponse est facile ; il suffit de savoir qu'un condensateur se compose de deux armatures séparées par un diélectrique, pour comprendre que lesdites armatures peuvent être constituées par deux électrodes ; quant au diélectrique, c'est le vide, évidemment. Les surfaces en jeu étant très petites, les valeurs des différentes capacités internes sont toujours faibles. On les évalue en picofarads ; rappelons à ce sujet que le picofarad est égal au micro-microfarad : $1 \text{ pF} = 1 \mu\mu\text{F}$.

Examinons ensemble la lampe la plus simple de toutes : la triode (fig. 1). A priori, il peut sembler que le fi-

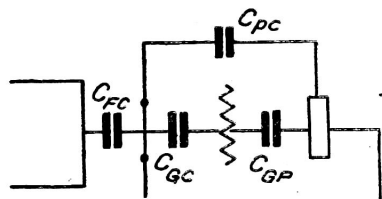


FIG. 1.

lament doit présenter des capacités parasites par rapport à la cathode, à la grille et à la plaque. Mais si l'on note que la cathode est un cylindre entourant complètement le filament, celle-ci forme en quelque sorte cage de protection et masque G et P à F. Le filament a donc une seule capacité parasite par rapport à la cathode ; on l'indique par C_{FC} ou C_{FK} , la première dénomination étant préférable, car

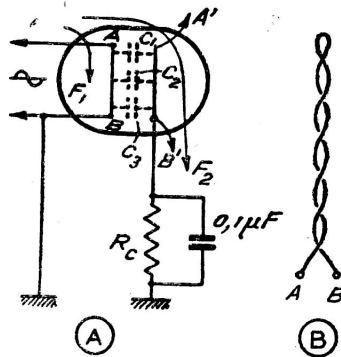


FIG. 2.

l'initiale de cathode est un C en français. Laissons le K aux Allemands. La valeur de C_{FC} est généralement de 5 à 10 pF ; on peut la décomposer en une infinité de capacités élémentaires C_1, C_2, C_3, \dots en parallèle les unes sur les autres (fig. 2), en consi-

dérant de petites portions du filament et les portions de cathode placées en regard. Vis-à-vis de la masse, A est à un potentiel alternatif ; il en est de même pour tous les autres points du filament, étant entendu que le potentiel diminue au fur et à mesure qu'on s'approche de B. Une partie du courant de chauffage arrivant en A va directement à la masse, en suivant la flèche F_1 ; une autre suit la flèche F_2 .

Supposons que toute la capacité C_{FC} soit localisée entre A et A'. La résistance du filament (entre A et B) est plus grande que celle de la cathode (entre A' et B') ; mais la tension de ronflement qui serait induite sur la cathode par effet électrostatique si le filament était rectiligne ne pourrait être gênante que sur les ondes courtes (1). En effet : supposons que le tube soit chauffé sous 6,3 volts - 0,3 ampère ; à chaud, il y a 21 ohms entre A et B. Pour que le courant qui passe par F, ait quelque importance, il faut que la réactance de C_{FC} soit très faible. Soit $C_{FC} = 10 \text{ pF}$. A 1.000 mètres, la réactance, donnée par la formule classique $Z = \frac{1}{\omega C}$ est de

$$Z = \frac{10^{12}}{2 \pi \times 10^3 \times 10^{-12}}$$

Il faut introduire 10^{12} au numérateur, car C est donné en picofarads. Quant à F, sa valeur est de 300 kc/s à 1.000 mètres, d'où :

$$Z = \frac{10^{12}}{20 \pi \times 3.10^5} = \frac{10^6}{6 \pi}$$

En chiffres ronds, on trouve 50.000 ohms. A 10 mètres, on aurait encore 500 ohms ! Par suite, on peut dire que C_{FC} ne gêne pas avec un filament rectiligne, c'est-à-dire dans le cas le plus défavorable. Par contre, il pourrait y avoir un ronflement par induction. Mais, pratiquement, on n'emploie plus que les filaments spiralés, de façon à supprimer celui-ci (fig. 2 B)...

Il en va tout autrement quand on examine la cathode : celle-ci « voit » la grille directement et la plaque à travers les mailles de G. Il en résulte qu'il y a une capacité cathode-grille C_{GK} , ou plutôt C_{GC} , et une capacité cathode-plaque C_{PK} ou C_{PC} . Enfin, nous trouvons C_{GP} entre grille et plaque.

CAPACITE GRILLE-CATHODE ET CAPACITE D'ENTREE

La capacité C_{GC} est désignée souvent sous l'appellation « capacité d'entrée », mais ce terme est assez discutable. En effet, l'usage veut qu'on appelle circuit d'entrée d'une lampe son circuit-grille et circuit de sortie son circuit-plaque. Si on néglige l'impédance de la résistance shuntée de polarisation, C_{GC} est pratiquement en parallèle sur le circuit-grille (fig. 3), mais la capacité d'entrée réelle du tube

est plus élevée. En appelant G le gain d'étage, on démontre en effet que dans le cas de l'amplification à résistance, sur les fréquences du médium :

$$C \text{ entrée} = C_{GC} + C_{GP} (1 + G) \quad [\text{Effet Miller}]$$

Supposons qu'on ait : $C_{GC} = 4 \text{ pF}$, $C = 1,8 \text{ pF}$, $G = 9$; la capacité d'entrée en fonctionnement atteint 22 pF. Si le gain est important, on arrive à un chiffre beaucoup plus élevé, pouvant dépasser largement 100 pF ! Il

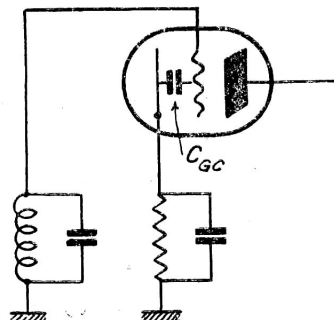


FIG. 3.

ne faut pas oublier que C_{GP} ne se réduit pas à la capacité interne entre grille et plaque ; on doit tenir compte aussi du culot et des connexions, si bien que le chiffre de 1,8 est pratiquement inférieur à la réalité. De même, dans l'évaluation de C_{GC} , il faut tenir compte des effets parasites dus au culot et au câblage.

Lorsque la charge ne se borne pas à une résistance ohmique pure, il n'y a pas opposition de phase complète entre les variations de tension-grille et de tension-plaque ; la formule ci-dessus n'est plus exacte, mais la capacité d'entrée dynamique reste toujours supérieure à C_{GC} . En outre, C_{GC} n'a pas la même valeur à froid et à chaud ; la charge spatiale tend à augmenter sa valeur, l'accroissement pouvant atteindre presque le tiers du chiffre mesuré à froid.

Finalement, retenons que la capacité d'entrée est toujours relativement importante ; celle-ci agissant en shunt sur le circuit-grille, diminue l'impédance quand la fréquence augmente. Nous verrons plus loin quelles conclusions on peut en déduire.

CAPACITE PLAQUE-CATHODE

La capacité plaque-cathode agit en shunt sur la charge anodique, charge figurée par une simple résistance sur la figure 4. D'après ce que nous avons dit plus haut, la cathode est, en alternatif, au potentiel de la masse ; donc, C_{PC} shunte R et le condensateur de sortie du filtre. L'impédance des $8 \mu\text{F}$ peut, elle aussi, être négligée, de sorte

(1) N. B. Sur 50 périodes, fréquence du courant de chauffage, l'impédance de C_{FC} est énorme.

que tout se passe comme si C_{pc} était directement en parallèle sur R . C'est pour cette raison qu'on la nomme habituellement « capacité de sortie ».

Ici, une petite parenthèse : dans un grand nombre de cours de radio, on

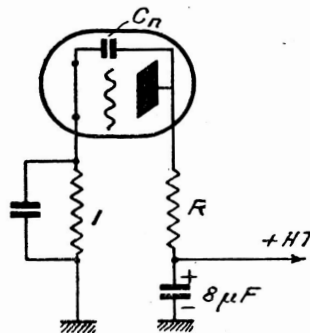


FIG. 4.

démontre que le coefficient d'amplification d'une lampe est donné par le rapport $\frac{C_{gc}}{C_{pc}}$. Mais si on ouvre un catalogue à une page quelconque, on trouve pour quelques types choisis au hasard :

	K	C_{gc}	C_{pc}
6 C 5.....	20	4	13
6 F 5.....	100	6	12
27.....	9	3,1	2,8
56.....	13,8	3,5	2,5

Convenons que l'égalité (?) $K = \frac{C_{gc}}{C_{pc}}$

se trouve assez mal vérifiée ! Il n'en reste pas moins vrai que la démonstration en question continue à être religieusement enseignée aux étudiants...

En fait, les capacités en fonctionnement diffèrent de celles qu'on mesure à l'état statique, d'où la contradiction apparente indiquée.

CAPACITE GRILLE-PLAQUE

Jusqu'ici, nous n'avons pas parlé de l'effet des capacités internes, nous réservant d'y revenir plus bas en ce qui concerne C_{gc} et C_{pc} . Mais pour C_{gp} , il est facile de faire voir immédiatement qu'elle agit par couplage électrostatique entre l'entrée et la sortie de la lampe. Or, quand on couple une grille et plaque, cela peut « faire des étincelles », ou, pour parler plus académiquement, cela peut fort bien faire osciller le tube si le montage s'y prête. Examinons, par exemple, le célèbre C 119 qui dérive de l'ancienne boîte C de l'armée. Dans ce montage (fig. 5), on utilisait un étage HF à grille et plaque accordées ; quand on était sur le réglage exact, un hurlement sauvage décelait la présence de l'émetteur, dont le speaker s'égosillait en un charabia incompréhensible, du fait que la lampe oscillait. Il y avait report d'énergie d'un circuit sur l'autre ; du reste, il existe un oscillateur à grille et plaque accordées basé sur ce principe : le TPTG. Donc, il fallait désaccorder l'un des circuits pour décrocher, ce qui était profondément illogique : d'abord, on

ne bénéficiait pas de l'amplification maximum ; ensuite, la sélectivité laissait à désirer...

D'une façon plus générale, dans un montage amplificateur, les couplages parasites doivent être combattus avec la dernière énergie. C'est pourquoi C_{gp} , à laquelle on donne parfois le nom suggestif de « capacité de réaction », constitue une gêne sérieuse et un des gros inconvénients de la triode.

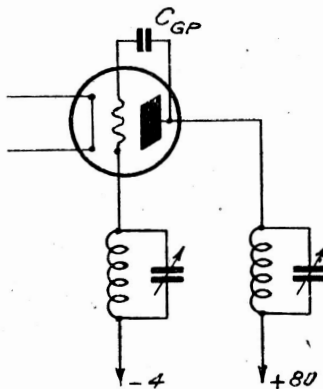


FIG. 5.

CAS DES TUBES A ELECTRODES MULTIPLES

On sait que les lampes à écran et les pentodes ont une capacité de réaction très réduite, en raison du rôle joué par l'écran. Il en est de même pour d'autres tubes plus complexes, comme la 6L7. Alors que les triodes ont une capacité grille-plaque variant entre 1,5 et plus de 15 pF, suivant le modèle, la valeur de C_{gp} est comprise entre quelques centièmes et quelques dix-millièmes de picofarad dans les tubes modernes à grille de protection.

Ici, nos lecteurs feront une remarque : plus le tube est compliqué, plus il présente de capacités internes ; ainsi, dans une lampe à écran, il faut ajouter à celles que nous avons indiquées : C_{ec} , C_{eg} et C_{ep} . Si on a affaire à une heptode, on trouve un nombre impressionnant d'arrangements deux à deux. Heureusement, la question est plus simple ; ainsi que l'a fait remarquer Jean Dubourg, les électrodes auxiliaires travaillent à potentiel fixe. Examinons, par exemple, une pentode et désignons l'écran par E, la grille d'arrêt par S. E est alimenté en haute tension soit directement, soit à travers une résistance, mais il y a toujours un condensateur à faire intervenir entre cette électrode et la masse (électrolytique de sortie ou fuite de 0,1 µF). Au point de vue alternatif, E est à la masse ; de même pour S, qui est relié à la cathode. Au repos, sans tenir compte de l'effet Miller, la capacité d'entrée est égale à la somme $C_{gc} + C_{ge} + C_{gs}$; de même, la capacité de sortie est égale à $C_{pc} + C_{pe} + C_{ps}$. On voit que l'augmentation du nombre d'électrodes conduit inévitablement à un accroissement des capacités d'entrée et de sortie.

ACTION DES BLINDAGES

Comparaison entre les lampes verre et les lampes métalliques

Deux questions viennent tout naturellement se poser :

1° Que deviennent les capacités inter-électrodes d'un tube verre lorsqu'on le munit d'un blindage ?

2° Quelles différences existent entre une lampe verre américaine et une lampe métallique portant le même numéro ?

Les réponses tiennent en quelques mots :

1° Quand on munit un tube verre d'un blindage, les capacités d'entrée et de sortie augmentent ; elles sont parfois doublées ! Par contre, la capacité de réaction diminue légèrement, entre 0,1 et 0,4 F, selon le numéro ;

2° Les capacités de réaction des tubes verre et des tubes métalliques correspondants sont à l'avantage de ces derniers ; toutefois, la différence est assez peu marquée en général. Exemples : 6C5 : 1,8 ; 6C5 G : 1,9 ; 6J7 : 0,005 ; 6J7 G : 0,007. Pour la 6A8 et la 6L7, l'écart est très important, puisque l'on trouve 0,03 avec la 6A8 métallique ; 0,3 avec la 6A8 G ; 0,0005 avec la 6L7 métallique ; 0,007 avec la 6L7 G.

Par contre, les capacités d'entrée et de sortie sont la plupart du temps plus petites dans les séries verre. Parfois, les tubes métalliques correspondants ont des capacités d'entrée deux fois plus élevées (compte non tenu de l'effet Miller) ; parfois, l'augmentation n'excède pas 50 %. La 6C5 G fait exception ($C_{ge} = 4,4$ contre 4 seulement pour la 6C5 métallique). Les différences entre les capacités de sortie sont moins accusées ; c'est ainsi que les tubes 6F5, 6J7 et 6K7 ont des capacités de sortie égales à 12 pF ; les 6F5 G, 6J7 G et 6K7 G font seulement 11 pF. A remarquer que, pour la 6B8, $C_{pc} = 9$ pF, contre 9,5 pour la 6B8 G.

EFFET DES CAPACITES D'ENTREE ET DE SORTIE

Les capacités d'entrée et de sortie agissant en parallèle sur les circuits grille et plaque, il est clair que, sur les ondes courtes, on peut être limité en bas de gamme ; en outre, l'impédance des circuits est abaissée. Celle-ci étant donnée à la résonance par la

formule $Z = \frac{L}{CR}$, on voit que si C

est élevée, Z est faible ; or, il faut faire intervenir non seulement la capacité d'accord, mais aussi les capacités parasites, y compris celles des relais. On voit quel est l'intérêt des lampes glands qui, à cause de leurs dimensions réduites, ont bien entendu des capacités internes faibles.

En raison de l'effet Miller, la capacité d'entrée a toujours une valeur nettement plus importante que la ca-

pacité de sortie ; c'est donc elle qui gêne le plus. Quand on veut réaliser un récepteur de télévision ou un amplificateur BF à haute fidélité, on se trouve limité vers les fréquences supérieures à transmettre. Une compensation peut être obtenue en montant une self en série avec la charge ; l'impédance de l'ensemble augmentant avec la fréquence, le gain d'étage croît, ce qui permet d'améliorer la courbe de réponse. Application : sur un ampli de télévision, en utilisant des lampes glands, on a pris une charge anodique constitué d'une résistance de 10.000 ohms en série avec un bobinage de 0,5 millihenry ; le condensateur de liaison faisait 10.000 pF et la fuite de grille 1 mégohm. Le montage étant très soigné, la capacité d'entrée du second tube n'excédait pas 11 pF ! On a pu obtenir un gain à peu près constant jusqu'à 2 mégacycles....

Sur les récepteurs de broadcasting, signalons que le remplacement d'une ECH 3 par une EK 3 est accompagné d'un dérèglement en bas de gamme PO, du fait que la capacité d'entrée de l'EK 3 est élevée. La commande unique doit être retouchée.

Enfin, signalons que l'effet Miller est à l'origine d'un phénomène désagréable, observé en ondes courtes : le glissement de fréquence (le gain variant, lorsque l'antifading agit, la capacité d'entrée est modifiée ; il faut retoucher le CV) ; par contre, il est mis à profit dans les appareils à commande automatique de fréquence (appareils à correction de l'accord) et dans les wobblateurs, si utiles pour tracer les courbes de résonance.

Edouard JOUANNEAU.

VIENT DE PARAÎTRE

COURS COMPLET pour la formation technique des RADIOS MILITAIRES ET CIVILS

par Georges GINIAUX

Les plus grandes écoles de Radio, toutes les Sociétés de Préparation militaire Radio adoptent cet ouvrage. Tous les futurs radios voudront le travailler. Il est rédigé pour permettre à des jeunes gens, sans culture mathématique, venus des professions les plus diverses, de comprendre :

- L'électricité générale ;
- La théorie de la Radio ;
- La pratique des circuits ;
- La technologie de tous les appareils émetteurs et récepteurs ;
- La pratique de l'écoute et de la transmission.

C'est, en 456 pages, le premier Cours complet de ce genre, destiné à la formation des spécialistes (soldats, aviateurs et marins), opérateurs et techniciens dépanneurs.

Les schémas des appareils les plus modernes sont analysés de façon à y faire retrouver les circuits de base.

Terminé en 1945, à l'heure où la nouvelle armée française appelle tous les jeunes et recherche avant tout des spécialistes, ce livre va permettre à chacun d'acquérir toute la formation nécessaire, soit qu'il soit déjà engagé ou mobilisé dans une unité, soit qu'il se prépare à être appelé demain sous les drapeaux.

Commandes aux Editions CHIRON, 40, rue de Seine, Paris (6^e). Prix : 170 fr. + 12 fr. de port C. C. P. Paris 58-35.

PROBLÈME N° 8 DE DÉPANNAGE

exposé par Lucien CHRÉTIEN,

Ing. E. S. E.

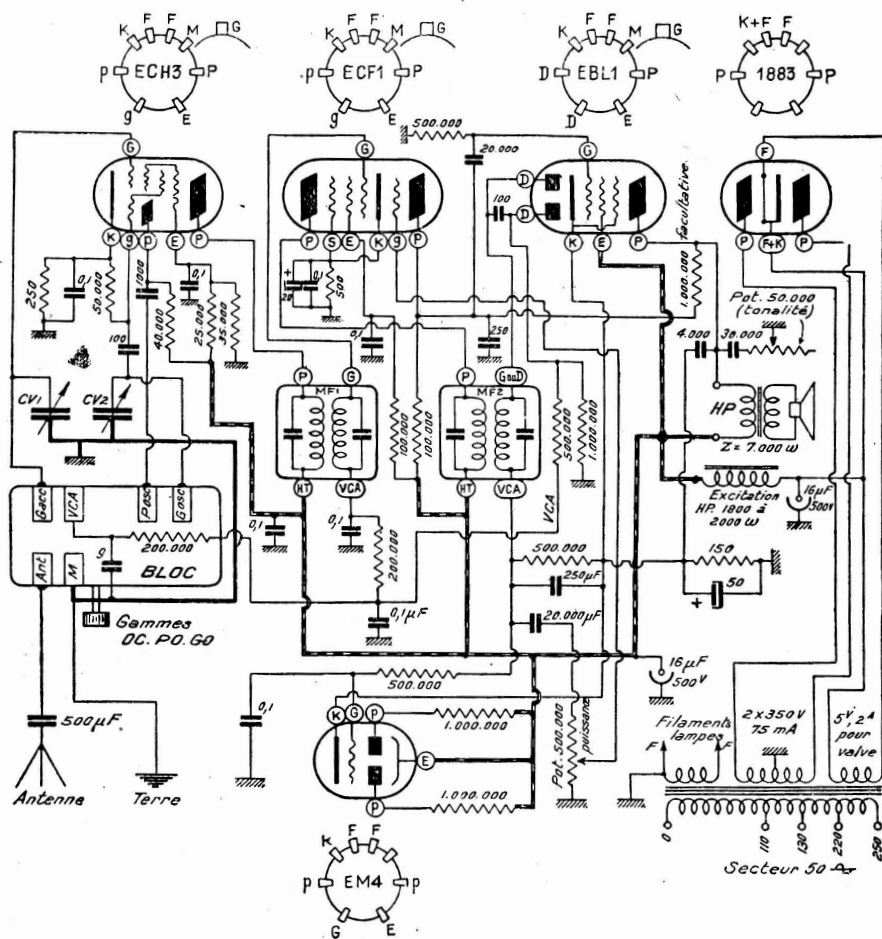
Il s'agit d'un récepteur à 3 lampes et une valve du type courant équipé avec :

- ECH3 Triode hexode changement de fréquence.
- ECF1 Moyenne fréquence
- EBL1 Amplificatrice B. F
- EBL1 Détection et étage de puissance.

L'audition est faible et déformée. Elle est couverte par un souffle très gênant. L'audition des stations faibles et lointaines est accompagnée de nombreux sifflements d'interférence. Le fonctionnement sur « pick-up » est éga-

lement défectueux. Toutes les lampes sont normales, ainsi que toutes les tensions, sauf toutefois la tension aux bornes de la résistance de cathode (polarisation) du tube EBL1. On trouve, en effet, 2,5 volts au lieu des 6 volts normaux. Pourtant, la valeur de la résistance de cathode est correcte : 150 ohms. Tous les découplages sont en bon état et ont la valeur normale. Les condensateurs de liaison ont été vérifiés. Aucune résistance ne présente une valeur anormale.

Pouvez-vous venir en aide au dépanneur ?...



SCHEMA DU RECEPTEUR 3 LAMPES + VALVE, correspondant au problème n° 8 posé ci-dessus. Ce schéma est celui d'un très bon appareil et nous avons indiqué toutes les valeurs convenables afin que sa réalisation soit entreprise par les lecteurs possédant le matériel indiqué.