

ÉLABORATION DES CAVITÉS

SI de nombreux et excellents ouvrages traitent du calcul des circuits de sortie HF pour les ondes décimétriques, on peut dire que bien peu de chose a été publié concernant l'élaboration des cavités pour ondes métriques ou centimétriques.

Devant l'intérêt grandissant que suscitent les fréquences élevées, une bonne information sur la conception de ces circuits s'impose, pour l'amateur averti, comme pour le technicien.

Pourquoi une cavité, peut-on se demander ? Les exemples que l'on trouve, ici et là, sont disparates et ne sont valables que si on en réalise une copie servile. C'est pour nous avons pensé faire œuvre utile, non pas en donnant des recettes toutes faites qui répondent rarement à des besoins précis, mais en envisageant d'abord les différents types de cavités et en donnant ensuite le moyen de les calculer et de les réaliser.

Par définition, une cavité est, généralement parlant, un volume entièrement fermé par un matériau conducteur. La forme de ce volume est de peu d'importance, mais détermine la fréquence de résonance. Une cavité sera résonante sur toute fréquence pour laquelle l'une quelconque de ses dimensions sera un nombre entier de demi-longueurs d'onde. Il en résulte que chaque cavité a une infinité de fréquences de résonance possibles.

Ce fait, apparemment décourageant, est sans importance immédiate si nous nous limitons à l'emploi comme circuit de sortie ou comme filtre de bande. Dans les deux cas, la fréquence de travail sera celle de l'énergie appliquée. Nous ne rencontrerons donc aucun ennui de ce côté.

Naturellement, une cavité peut résonner également sur des harmoniques inférieures et cela peut conduire à des difficultés. Par chance, les types de cavités les plus courants ont des modes de résonance tels que ce phénomène devient secondaire, pour autant qu'il se présente.

Les méthodes d'élaboration diffèrent suivant les formes. En général, les cavités sont classées en deux catégories principales comportant quelques variantes :

1° Les cavités cylindriques droites qui peuvent être assimilées à une portion de cylindre.

2° Les cavités prismatiques, boîtes closes à 6 faces.

Dans la première, nous trouvons la cavité dite rééminente (cas le plus général) (Fig. IV-A), la cavité plate (Fig. IV-B) et la ligne coaxiale (Fig. IV-C).

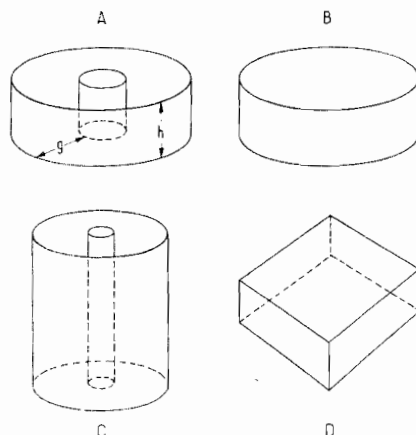


Fig. IV

La cavité du type rééminente consiste en une portion de tube clos à chaque extrémité avec une colonne concentrique à l'intérieur. Cette colonne, si elle repose sur le fond, étant de hauteur inférieure, ne touche pas la face supérieure.

La cavité cubique (Fig. IV-D) peut être considérée, à la limite, comme une cavité rééminente dans laquelle l'espace a été augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne la longueur entière. A l'inverse, dans la cavité coaxiale, le pilier central est soudé aux deux faces opposées. Ayant passé en revue les principaux types, nous noterons que la cavité coaxiale est rigoureusement l'opposé de la cavité prismatique.

En effet, dans la première, c'est la longueur qui détermine la fréquence de résonance et le dia-

mètre, le coefficient de surtension. Tandis que dans la cavité prismatique, c'est la hauteur qui conditionne le coefficient de surtension et la section qui détermine la fréquence.

Dans la cavité rééminente, la longueur et le diamètre jouent à la fois, sur l'un et sur l'autre.

Le rôle d'une cavité est de déterminer la fréquence de travail par le fait de ses dimensions. L'explication détaillée du phénomène apparaît directement dans les équations tirées du champ de Maxwell, mais

Lorsque nous changeons la cavité coaxiale en cavité rééminente en insérant un espace à l'une des extrémités, en maintenant cet espace constant, nous trouvons que pour maintenir la même fréquence de résonance, la ligne doit être raccourcie. Si nous raccourcissions encore cette ligne, tout en gardant la même fréquence et le même espace, nous trouvons que c'est le diamètre qui devra être augmenté pour maintenir la résonance.

Lorsque nous atteignons le type opposé de cavité, dans laquelle la longueur correspond à l'espace précédent et que l'axe central a disparu, nous nous apercevons que la fréquence de résonance est entièrement contrôlée par le diamètre de la cavité. Dans ces conditions, nous pouvons faire la hauteur de la cavité quelconque dans des valeurs raisonnables par rapport à ce qui a été exposé et la fréquence de résonance restera approximativement la même.

Ainsi nous avons vu que, dans la cavité coaxiale, la fréquence est déterminée par la longueur et que le diamètre est de peu d'importance cependant que dans la cavité prismatique, c'est le diamètre qui compte et la hauteur présente peu d'influence.

Comment cela se passe-t-il pour la cavité de type intermédiaire dite du type rééminente ?

C'est un problème complexe, car dans ce type de cavité quatre variables agissent en même temps pour déterminer la fréquence de résonance. Si trois quelconques de ces coordonnées sont fixes et que la quatrième subit des modifications, cette dernière détermine la variation de la fréquence de résonance. Mais si deux dimensions sont modifiées ensemble, la fréquence de résonance peut éventuellement rester sensiblement la même, si les variations sont en sens inverse. Les quatre variables sont : le diamètre de la cavité, le diamètre de l'axe ou colonne intérieure, la grandeur de l'espace, la hauteur (ou longueur).

Arrivé à ce point de nos explications, il y a lieu d'examiner

comment les caractéristiques d'un circuit résonant quelconque peuvent être considérées.

La conception d'un circuit oscillant, pour les fréquences basses, fait intervenir l'inductance, la réactance capacitive, les pertes et la résistance de charge. Cette dernière valeur n'est pas toujours spécifiée, mais elle est inhérente à toute application.

Un circuit oscillant peut être aussi déterminé par sa fréquence de résonance, son coefficient de surtension « Q », et sa résistance de pertes. D'ailleurs, ce système de calcul tend à être de plus en plus utilisé par ceux qui se servent de grid-dip, ou de moyens de mesures directes.

Dans le cas des fréquences élevées et de l'utilisation des cavités, induction et capacitance perdent de leur signification, puisqu'on ne peut pas les rendre relatives à des dimensions définies. C'est pourquoi le seul moyen de déterminer une cavité est de considérer son coefficient de qualité Q et sa fréquence de résonance.

Nous avons vu ci-dessus comment certaines des dimensions déterminent la fréquence de résonance. Qu'en est-il maintenant du coefficient de surtension ?

Le coefficient de surtension Q (à vide naturellement) d'une cavité dépend tout d'abord, et cela se conçoit, de la conductivité HF du matériau utilisé et également de la fréquence d'utilisation. Cependant, il peut être aussi détérioré d'une façon importante par un choix erroné des dimensions de la cavité augmentant les pertes HF.

Pour l'instant, nous avons vu comment, dans la cavité prismatique, la fréquence est déterminée entièrement pas le diamètre et comment la hauteur est à peu près indifférente. Par contre, cette dimension peut avoir une importance prépondérante sur le « Q » de la cavité.

Il est évident que si la hauteur est réduite à zéro, le coefficient de surtension est nul, puisque la cavité cesse d'exister. De même, le coefficient « Q » atteint sa valeur maximum avec une cavité infiniment haute, ce qui est irréalisable.

Par contre, on constate qu'il atteint la moitié de cette valeur lorsque la hauteur est réduite à 0,192 de la longueur d'onde. En conséquence, si la hauteur est choisie plus grande que 1/5 de la longueur d'onde, elle n'aura que peu d'influence sur le coefficient de qualité « Q ».

Lorsque la hauteur décroît, nous avons vu que le « Q » décroît également, mais cela ne se produit pas d'une façon linéaire. Pour réduire le « Q » au dixième de sa valeur maximum théorique, il faut réduire la hauteur de la cavité jusqu'à une valeur de 0,021 de la longueur d'onde.

A titre d'exemple, disons, qu'à une cavité dont la fréquence de

résonance est de 300 MHz, correspond une hauteur de 2 cm environ, un diamètre de 75 cm pour un coefficient « Q » égal au dixième de la valeur maximum qui sera quand même d'environ 1 000. On peut se rendre compte par cet exemple qu'à toute hauteur pratiquement raisonnable correspond une valeur de « Q » plus que satisfaisante.

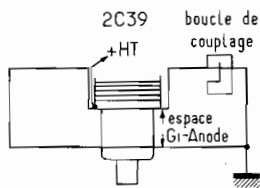


Fig. IV - 2

Des conditions similaires apparaissent dans la cavité à ligne coaxiale. Ici le « Q » sera maximum pour un rapport précis des diamètres qui correspond à une impédance de 77 Ω. Avec cette valeur ainsi fixée, le « Q » sera infini, lorsque le diamètre extérieur de la cavité sera infini. Il s'approchera de zéro, lorsque ce même diamètre s'approchera de zéro. Cependant, ici encore, à l'intérieur des limites raisonnables, le diamètre extérieur, ainsi que le rapport des diamètres restent de peu d'importance.

Dans la cavité réentrante, tous les facteurs qui peuvent affecter la fréquence ont également une influence sur le coefficient de surtension. A cause des interactions entre les quatre variables, on ne peut dire que peu de choses concernant les moyens de mettre en évidence ces effets. Malgré tout, en pratique, ils sont tous, dans les limites de dimensions raisonnables, à peu près négligeables.

Tout ce qui précède sous-entend, évidemment, que les surfaces intérieures de la cavité possèdent une excellente conductivité HF.

En construisant une cavité avec de la ferraille, il est certain que le coefficient de surtension sera profondément affecté, par contre, avec une surface argentée, les valeurs de « Q » seront infiniment plus grandes que celles que l'on est habitué à rencontrer pour les fréquences plus basses. Un coefficient de 1 000, qui paraîtrait exceptionnel pour une bobine conventionnelle, est considéré comme faible pour une cavité.

Jusqu'à ce point de notre étude, nous n'avons considéré que des cavités non chargées, c'est-à-dire sans utilisation pratique. Ce qui

est très bien au point de vue théorique, puisque rien d'extérieur n'a d'effet sur elle, mais pour les mêmes raisons rien ne peut en être extrait. Pour faire un emploi de cette cavité, nous devons la charger d'une manière quelconque, soit en la couplant à une ligne de transmission pour s'en servir comme d'un filtre, ou bien en la couplant à un tube comme circuit oscillant.

Le couplage d'une cavité peut s'effectuer de deux façons : couplage électrique, par l'emploi d'un système capacitif à haute impédance, ou couplage magnétique à basse impédance soumis au champ magnétique de la cavité.

Le couplage électrique est obtenu, soit en insérant une probe (qui n'est autre qu'une antenne miniature) dans la cavité en un point de haute impédance, ou bien en plaçant un tube électronique à travers la cavité en son point de plus haute impédance, de telle manière que la plaque se trouve branchée d'un côté de cette cavité, et sa cathode de l'autre (Fig. IV-2).

Ce type de couplage facile conduit, pour la cavité réentrante, à un emploi logique et naturel.

Le couplage magnétique est obtenu en introduisant une boucle de couplage à l'intérieur de la cavité. La position normale se trouve soit dans un coin, soit en travers d'une des extrémités. Le couplage d'antenne de la figure IV-2 est du type magnétique afin de montrer la différence entre un couplage magnétique et un couplage capacitif.

En fait, on peut dire pour résumer, que le couplage électrique ou capacitif se situe en un ventre de tension qui correspond à un nœud d'intensité ; tandis que le couplage magnétique se trouve placé en un ventre de courant correspondant à un nœud de tension.

Il va de soi que l'on doit toujours se trouver, dans un cas comme dans l'autre, le plus près possible d'un nœud et d'un ventre correspondants.

Un autre fait très important et que nous n'avons pas encore considéré, est l'effet des capacités aux bornes de la cavité, par exemple la capacité plaque/cathode du tube monté sur cette cavité et qui se trouve directement à travers le point d'impédance la plus élevée. Pour l'élaboration de la cavité, l'effet de cette capacité supplémentaire doit être pris en considération.

Malheureusement, les procédés mathématiques eux-mêmes servant au calcul des cavités ne tiennent pas compte des effets réels de telles capacités, excepté dans le cas particulier de la cavité en ligne coaxiale. Dans ce cas, cet effet se traduit par un rallongement électrique de la cavité et a pour conséquence un raccourcissement de la longueur mécanique pour conserver la résonance.

La formule particulière tient compte de ce phénomène et fait ressortir que la longueur effective de la ligne exprimée en degrés électriques, est égale à l'angle dont la tangente multipliée par l'impédance caractéristique de la ligne est lui-même égal à la réactance capacitive de la capacité placée aux bornes de la cavité.

Nous l'avons étudiée en détail dans le précédent chapitre.

L'addition de capacités supplémentaire aux autres types de résonateurs à cavité, abaisse également la fréquence de résonance, mais le calcul de sa valeur exacte est un problème beaucoup plus difficile. Le moyen pratique de prendre ce facteur en considération est de prévoir le résonateur pour une fréquence approximativement double de celle prévue et de charger la cavité avec des capacités additionnelles après que les tubes ont été installés, jusqu'à obtenir la fréquence désirée.

Ce facteur particulier, qui est en fait un défaut de connaissance concernant les effets exacts de la charge capacitive sur les caractéristiques de la cavité, est un des points les plus délicats dans l'élaboration des cavités. Il rend l'étude satisfaisante d'un montage très

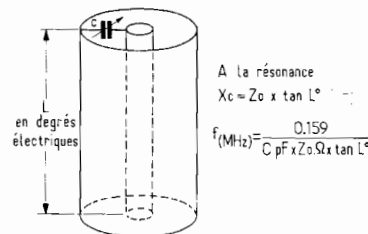


Fig. IV - 3

fastidieuse, et oblige à des essais successifs jusqu'au résultat final, au lieu du processus simple qu'on aurait pu espérer.

Des laboratoires spécialisés, disposant d'outillage spécial, ont étudié à fond ces différents problèmes, et il ne reste à l'utilisateur qu'à reprendre les résultats obtenus.

Avant d'en arriver à la discussion sur les moyens réels de définir les cavités, il peut être intéressant de jeter un coup d'œil sur quelques facteurs secondaires, mais d'une certaine importance, notamment ceux, purement mécaniques qui influencent la stabilité en fréquence dans la cavité terminée.

Il est bon de se rappeler qu'il y a deux facteurs qui influencent la stabilité en fréquence : ce sont les dimensions de la cavité déterminent principalement sa fréquence de résonance, et que tous les matériaux utilisés varient de dimensions sous l'influence des changements de température. Ainsi

faut-il choisir le métal utilisé, non seulement en fonction de sa rigidité, de son prix de revient, ou de sa conductibilité HF, mais également de son coefficient de dilatation qui doit rester minimum lorsque le tube électronique utilisé en fait la température.

Les coefficients de dilatation apparaissent sommairement dans le tableau ci-dessous, valable pour les principaux métaux utilisés. Il donne en particulier la variation de fréquence en cycles par MHz de la fréquence de résonance et par degré C. On notera que la fréquence augmente avec la température, et que sous ce rapport, l'aluminium vient en dernier rang avec le maximum de variation.

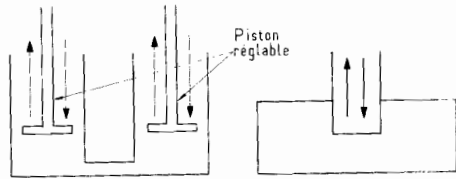


Fig. IV - 4

TABLEAU

Qualité thermique de quelques matériaux

Matériau	Coefficient de dilatation
Acier	12
Acier cuivre	14
Argent	20
Laiton	22
Aluminium	26

A titre d'exemple, sur 1 200 MHz, une cavité en laiton de $20 \times 1 200 = 24 000$ Hz par degré centigrade de variation de température. Si la température varie de 100° en cours de fonctionnement, la fréquence variera de $24 000 \times 100 = 2,4$ MHz, ce qui n'est pas négligeable et doit être contenu dans la bande passante du système.

Le compromis le plus raisonnable reste l'emploi du cuivre, qui allie de bonnes qualités d'argenter, une facilité de travail à un coefficient de température supportable.

La fréquence de résonance de la cavité sera aussi affectée par l'humidité ambiante, et ceci nous donne éventuellement un moyen de contrôle sur ses variations. En prenant comme point de départ une humidité relative de 60 %, une augmentation de ce pourcentage à 100 % fera décroître la fréquence de 0,006 %. Ceci correspond à une variation de 6 kHz par MHz. Une diminution de l'humidité

relative à 20 % fera augmenter la fréquence de la même quantité. Des changements dans la température de l'air provoquent également des effets similaires, mais en moins grandes proportions.

Comme on ne peut pas grand-chose sur les effets de l'humidité, il peut paraître sans intérêt d'en parler ; cependant, il est bon d'en connaître les effets. Ceux-ci peuvent être compensés en réajustant le réglage de la cavité.

Cela nous amène à parler des moyens de réglage des cavités autour de la fréquence nominale. Comme nous l'avons vu précédemment, une cavité peut être accordée par l'ajustement de sa longueur, ou, si celle-ci est du type réentrant par

la variation de l'espace intérieur. La longueur pouvant être ajustée, de même l'espace peut être réglé suivant la technique décrite ci-dessous (Fig. IV-4).

Si le réglage s'effectue en modifiant la longueur, la fréquence diminue si la longueur augmente, par contre si l'on modifie l'espace intérieur, la fréquence diminue lorsqu'on diminue l'espace séparant la colonne intérieure de la paroi opposée de la cavité. Une autre méthode employée fréquemment est montrée dans la figure IV-5.

Celle-ci utilise un condensateur ajustable pour faire varier une



Fig. IV - 5

capacité additionnelle dans la cavité. Par contre l'effet de cette variation pour une cavité donnée est difficile à prévoir, il est évident que lorsque la capacité augmente, la fréquence diminue et inversement.

A partir de ces différentes considérations, il est possible maintenant d'envisager l'élaboration d'une cavité. Ce sera l'objet du chapitre suivant.

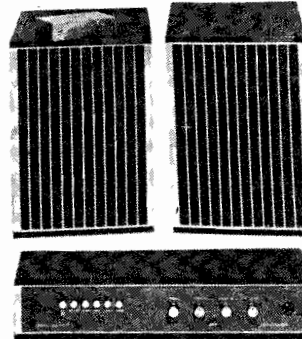
(à suivre)

JACQUES MAINARDI (F8MK)
ROBERT PIAT (F3XY)

VÉRITABLE BAIN DE MUSIQUE PURE

SERVO-SOUND®

C'est la STERO GLOBALE « SUR MESURE »
...et ce, bien avant tout le monde



INSTALLATIONS POSSIBLES
2 - 4 - 6 ENCEINTES et plus
jusqu'à 1 000 W en partant

D'UN SEUL PREAMPLI

L'AMPLI, grâce au circuit cybernétique d'asservissement incorporé restitue toutes les nuances musicales même à FAIBLE PUISSANCE.

Dim. du préampli : 395x190x80 mm
Dimensions d'une enceinte avec ampli et asservissement : 280x260x180 mm

PRIX : PREAMPLI et 2 ENCEINTES : 2 583,00 F

CARACTERISTIQUES ETONNANTES : demandez la notice détaillée



L'AVENTURE COMMENCE AVEC K 60 LE MAGNETOPHONE DES ESPIONS

Dimensions : 145x77x28 mm. Poids : 330 g.
Enregistrement sur cassettes 2 x 30' - 2 x 45'

ACCESSOIRES : Micro bouton ou stylo de très haute sensibilité

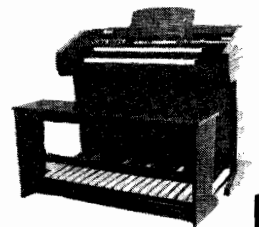
Demandez la documentation sur cette petite merveille

ASTOR ÉLECTRONIQUE 39, passage Jouffroy
P. BOULETIEF, Ing. B.F. (12, bd Montmartre)
PROvence 86-75

PARIS-9^E

ORGUE ÉLECTRONIQUE ARMEL Système KITORGAN

Montez vous-même un orgue de grande qualité, progressivement au moyen de nos ensembles. Toutes nos réalisations sont complémentaires et peuvent s'ajouter à tout moment. Haute qualité sonore due aux procédés brevetés ARMEL.



NOUVEAUTÉ SENSATIONNELLE

Générateur à **CIRCUITS INTÉGRÉS ARMEL MOST 7 d 1**

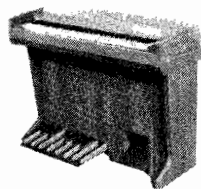
- GC1 - Ensemble générateur complet : 12 plaquettes de 7 notes (total 84 notes) avec circuits intégrés - Montage ultra rapide L'ensemble : **840 F**
- G12 - Ensemble générateur pour 7 notes : 1 plaquette oscillateur + 7 diviseurs avec circuit intégré MOST 7 d 1 L'ensemble : **79 F**
- MOST 7 d 1 - Circuit intégré (décrit dans le H.P. de janvier) à 7 étages - bascules diviseurs de fréquence La pièce : **49 F**. Le jeu de 12 pièces : **520 F** (Quantité plus importante, nous consulter)

- GT - Ensemble générateur complet (à composants classiques) 12 plaquettes de 7 notes (total 84 notes) - Ensembles sacrifiés - Quantité limitée - Prix incroyable :
- CT - Ensemble clavier, contacts, circuits de liaison, à 12 préamplis, 5 octaves complètes pour 6 rangs : 16', 8', 4', 2' 2/3, 2', 1' 3/5 L'ensemble : **1 150 F**
- A1 - Alimentation régulée, avec transfo L'ensemble : **80 F**
- KT01 - Circuit de timbres 12 jeux, avec interrupteur L'ensemble : **120 F**

Le **MATÉRIEL COMPLET** pour 1 clavier 5 octaves, 12 jeux dans les 6 rangs : 16', 8', 4', 2' 2/3, 2', 1' 3/5 - (GT + CT + A1 + KT01) **Prix spécial franco : 1 990 F**

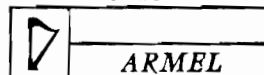
NOUVELLE ÉBÉNISTERIE POUR UN CLAVIER composée de 2 éléments indépendants :

- E3 - BOITIER DE PETITE CONSOLE : utilisable seul, ou sur pieds, ou sur l'élément E4. Le kit, à assembler **320 F**
- E4 - BAS DE PETITE CONSOLE : formant baffle, avec pédale d'expression. Pourra recevoir un pédalier réduit de 13 notes. Le kit, à assembler **300 F**
- Les 2 ENSEMBLES E3 + E4, commandés à la fois : Prix spécial **580 F**



CRÉDIT FACILE 3, 6, 9 et 12 mois - DEMANDER NOTRE NOTICE SPÉCIALE

BON POUR UNE DOCUMENTATION NOM
GRATUITE



PROFESSION
ADRESSE

S.A. ARMEL - 56, rue de Paris - 95-HERBLAY - Tél. : 978-19-78