

LES QUARTZ ET LES OSCILLATEURS A QUARTZ

par A. CHARCOUCHET (F. 9. R. C.)

Les montages auto-oscillateurs (VFO) sont souvent soumis à l'action d'agents extérieurs qui font varier leur fréquence et les rendent peu stables, quelquefois aussi, les lampes et les pièces constituant le montage jouent un rôle important dans le glissement de la fréquence.

Pour les fréquences 3, 5, 7, 14, 21, 28 MHz, les VFO suffisent et rendent d'ailleurs de très grands services. Si l'on prend quelques précautions (montages et selfs rigides, câblages aérés, couplages parasites évités, condensateurs et démultiplicateur sans jeu), aucune dérive ne sera constatée. Pour les VHF, il n'en est pas de même, la multiplication de l'auto-oscillateur est plus grande et la dérive se trouve multipliée par 10, 15 ou 20, ce qui ne satisfait pas à la stabilité du montage. C'est pour cela que dans ce cas, le pilotage cristal ou quartz est utilisé étant très stable, sans précautions trop strictes.

Le quartz.

Le quartz (silice SiO_2) et la tourmaline sont des cristaux que l'on trouve à l'état naturel et qui possèdent une structure telle que si l'on coupe des lamelles d'une certaine façon, elles possèdent la propriété de se déformer sous l'action d'un champ électrique et inversement si l'on déforme le quartz une différence de potentiel apparaît sur ces faces, c'est ce que l'on appelle l'effet piézo-électrique. Les cristaux de quartz ont l'aspect du verre légèrement opaque. Ces cristaux possèdent encore bien d'autres propriétés mécaniques et optiques qui n'ont rien à voir avec la radio-électricité.

Un cristal de quartz est caractérisé par différents axes de symétries (fig. 1).

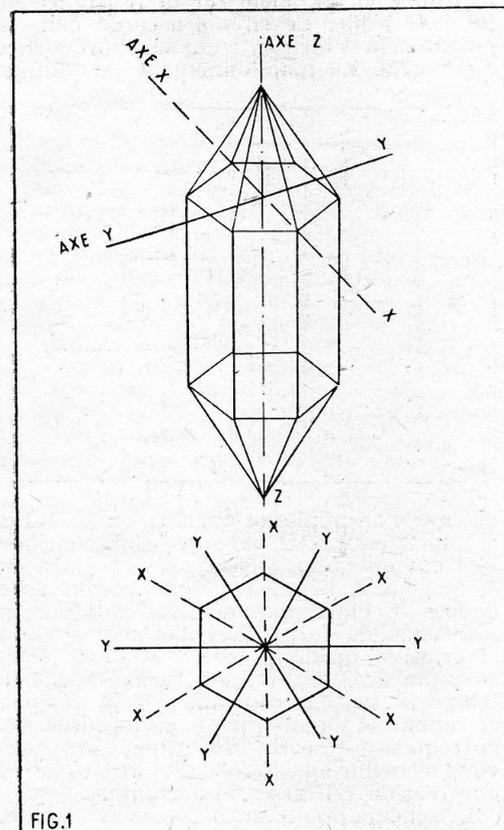


FIG. 1

L'axe optique ZZ.

L'axe mécanique YY, perpendiculaire à l'axe ZZ et aux côtés de l'hexagone (fig. 1).

L'axe électrique XX, perpendiculaire à l'axe ZZ et aux axes YY.

L'effet piézo-électrique utilisé pour les oscillateurs à quartz est la déformation mécanique sous l'effet d'un champ électrique. Le cristal taillé possède une résonance mécanique, et vibre à une fréquence élevée à cause de sa rigidité. La fréquence de vibration dépend des dimensions et de l'orientation de ses cristaux.

Des vibrations de trois sortes peuvent être produites suivant la position des électrodes par rapport aux différents axes : 1° des vibrations de torsions ; 2° des vibrations longitudinales ou transversales ; 3° des vibrations de glissement. La fréquence de ces vibrations n'est pas la même et est déterminée par les dimensions du cristal employé.

Du fait des propriétés piézo-électriques, il est possible de tailler une lamelle de quartz qui, pourvue d'électrodes convenables, aura les caractéristiques d'un circuit résonnant série avec un rapport L/C (fig. 2a) très élevé et un coefficient de surtension Q lui aussi très élevé, et bien supérieur à celui d'un circuit oscillant ordinaire. Le coefficient de surtension étant très grand, mais non infini, la figure électrique du quartz est complétée par la résistance R.

Les capacités des électrodes, des fils de liaisons, du support et du câblage sont représentés en parallèle et en pointillé sur la figure 2b. Dans le cristal, ces capacités sont beaucoup plus importantes que la capacité série de l'équivalent L/C, et, à moins que la capacité en parallèle soit équilibrée par un montage en pont, le cristal présentera deux fréquences de résonance (résonance série et antirésonance ou parallèle). La caractéristique de résonance série est utilisée dans les filtres cristal de récepteur et dans certains montages oscillateurs à réaction. La caractéristique parallèle permet de substituer un quartz à un circuit résonnant, dans un oscillateur avec une stabilité plus grande. La vitesse de propagation, d'une onde de choc (vibration mécanique) à travers un quartz est de 4.500 m à la seconde. c'est à partir de cette base qu'il est permis de calculer l'épaisseur à donner à la coupe pour avoir une fréquence déterminée.

Les variations de température, faisant varier les dimensions mécaniques du cristal, sont souvent cause d'un glissement de la fréquence. Cette élévation de la température peut avoir plusieurs sources : lampe ou source de chaleur à proximité du quartz, courant trop important circulant dans le quartz, etc.

Pour obtenir un quartz à partir d'un bloc de cristal, une lame de celui-ci est d'abord grossièrement taillée suivant une orientation déterminée par rapport aux axes optiques et électriques. L'orientation fixant l'activité du quartz, le coefficient de température et l'épaisseur, il faut distinguer trois sortes de coupes qui sont désignées par les lettres : X ou coupe Curie, Y ou coupe à 30°, et coupe R, AT, ou coupe V.

Les cristaux de quartz taillés n'ont pas obligatoirement une forme parallépipé-

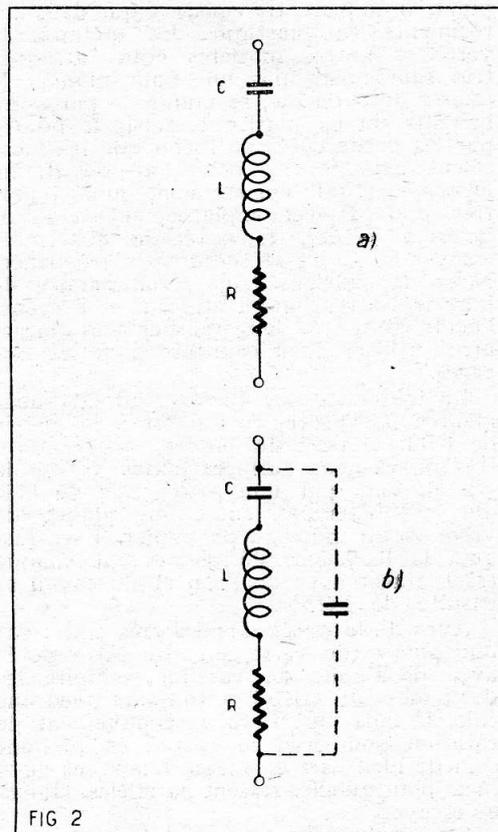


FIG 2

que mais suivant l'utilisation auxquelles on les destine, affectent des formes différentes carré, rectangulaire, circulaire, elliptique ou annulaire. La coupe de la lamelle étant réalisée grossièrement, après un passage à la meule, une première mesure de la fréquence est effectuée. La fréquence augmentant en raison inverse de l'épaisseur, ce travail doit être effectué avec précision pour ne pas dépasser la fréquence désirée.

Fréquences du quartz.

Pour amener le quartz sur la fréquence désirée, il existe plusieurs procédés selon que la fréquence est trop haute ou trop basse, ce sont : le recouvrement, le décapage, l'argenture et l'aurification.

Les deux derniers procédés, consistent à tailler le quartz pour une fréquence légèrement supérieure à la fréquence désirée et par pulvérisation d'un enduit, d'augmenter la capacité des électrodes, ce qui revient à diminuer la fréquence.

Le décapage consiste à tailler le quartz pour une fréquence désirée et de plonger celui-ci dans un acide quelconque (en général de l'acide fluorhydrique) pendant un temps bien déterminé pour que son action diminue l'épaisseur du cristal et l'amène à correspondre à la fréquence demandée.

Ces deux procédés sont applicables par l'amateur avec des quartz démontables (FT 241 et autres). Les quartz modernes sous boîtier soudés se prêtent mal aux modifications.

Pour diminuer la fréquence d'un quartz, un amateur peut, après l'avoir démonté, plonger le cristal dans du mercurochrome. Après cela, laisser sécher, remonter et essayer le quartz. Il se peut qu'après plu-

sieurs heures, il ne veuille plus osciller. Pour lui redonner une nouvelle jeunesse, il suffit de le nettoyer à l'éther. Souvent, avec des boîtiers mal fermés ou après des manipulations nombreuses, le quartz refuse d'osciller, dans ce cas aussi, il suffit de le nettoyer à l'éther.

Pour augmenter la fréquence d'un cristal, le procédé est plus compliqué et demande certaines précautions du fait que l'acide fluorhydrique est assez dangereux à manipuler. Il ne peut être conservé que dans des récipients en plastique, les métaux, le verre et autres matières étant attaqués très rapidement par lui. Pour plonger le quartz dans l'acide, se munir de pinces en bakélite ou en plastique, saisir le quartz par les petits côtés de façon que les faces soient exposées à l'acide, au début, ne laisser le cristal dans cet acide qu'un temps très bref. Rincer copieusement à l'eau, laver à l'éther, remonter le quartz et essayer l'activité et mesurer la fréquence. Nous ne saurions trop recommander de faire très attention en utilisant ce procédé, l'acide étant très dangereux et aussi, largement utiliser l'eau courante pour les rinçages.

La fréquence des quartz peut être augmentée par usure, ce qui est à la portée de l'OM : Avec du papier carborundum très fin et deux surfaces plates, frotter le cristal, tenu par une petite cale de bois dur, par exemple, entre une plaque de verre et un morceau de papier. User jusqu'à la fréquence désirée. Avant chaque essai, rincer avec de l'eau et du savon et ensuite de l'éther.

Avec de la potée d'émeri très fine : sur une plaque de verre, étendre cette potée avec de l'huile de vaseline, enduire les deux faces du cristal et toujours avec une cale de bois dur, faire un mouvement de rotation pour user le cristal, en prenant soin de bien user en même temps les deux faces pour qu'elles restent parallèles. Rincer et essayer.

Ces deux derniers procédés utilisables par l'amateur donnent des résultats beaucoup moins rapides que l'acide, mais sont, par contre, moins dangereux que ce dernier. Avec un quartz déjà taillé pour une fréquence donnée, il ne faut pas escompter le faire dériver de plusieurs centaines de kilohertz, mais tout au plus de 10, et ce dans de bonnes conditions, ce qui est appréciable.

Supports et armatures de cristaux.

Les temps sont révolus ou les amateurs étaient dans l'obligation de construire le support et les électrodes des quartz qu'ils utilisaient. Depuis pas mal d'années déjà, les quartz sont livrés dans leurs boîtiers et munis de broches qui permettent de les fixer dans des supports prévus à cet effet. Les boîtiers des quartz sont très divers suivant leur utilisation et le type du cristal auquel ils sont destinés, certains sont en boîtier étanche, sous vide, dans un gaz inerte, qui est souvent de l'azote, d'autres, dans des enceintes munies de résistance et de thermostat qui les maintiennent à une température constante évitant les dérives plus ou moins désagréables. Mais comme pour tous les montages une bonne fixation et des contacts francs sont nécessaires pour obtenir un bon fonctionnement.

Tailles spéciales pour harmoniques.

On sait qu'une antenne peut fonctionner sur plusieurs fréquences en relation harmoniques. Par une taille spéciale et des montages appropriés, les quartz peuvent fournir les harmoniques de leur fréquence fondamentale, sans que pour cela, cette fréquence soit recueillie sur le circuit de sortie, c'est le cas des montage Overtone.

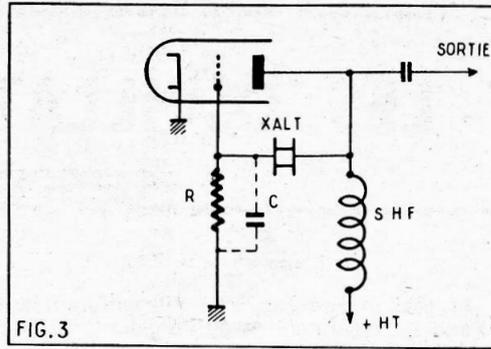


FIG. 3

Certains quartz sont taillés spécialement pour produire des harmoniques. Les coupes utilisées sont les coupes BT et AT qui fournissent les harmoniques 3, 5, 7. Les quartz taillés pour fonctionner en harmonique refusent souvent d'osciller sur les montages normaux. Pour la production d'harmoniques 5 et 7, les soins habituels de montages doivent être encore plus poussés.

Courant dans un cristal.

Pour un cristal donné fonctionnant comme un circuit bouchon dans un oscillateur à impédance de charge fixe, le courant HF, traversant le cristal, augmente quand la capacité de shunt C_2 (fig. 2b) est augmentée, le rapport C_1 à C_2 étant augmenté.

Le rôle du cristal est de donner une grande stabilité et c'est pour cette raison qu'il ne faut pas utiliser un oscillateur cristal dans le but d'obtenir une puissance considérable directement à la sortie de l'oscillateur, car une telle opération chaufferait considérablement le cristal et provoquerait un glissement de la fréquence, et peut être une rupture possible du quartz.

Oscillateurs quartz.

Il existe énormément de schémas d'oscillateur cristal qui portent tous des noms bien connus dans le monde de la radio, mais pratiquement, tous les schémas sont dérivés du schéma de base de G. W. Pierce qui fut l'un des premiers à l'utiliser. L'emploi d'oscillateur cristal comme pilote d'émetteurs date des années 1924-1925.

L'oscillateur Pierce.

La figure 3 donne le schéma de l'oscillateur Pierce, qui de tous les oscillateurs cristal est le plus simple. Le quartz remplaçant le circuit oscillant d'un oscillateur Colpitts. La tension HF disponible à la sortie d'un tel oscillateur est très petite. Il sera quelquefois nécessaire de shunter la résistance de fuite de grille, pour augmenter la tension disponible sur le circuit de sortie (celle-ci étant approximativement égale à la tension aux bornes du cristal) et aussi quelquefois pour assurer l'entretien des oscillations, lorsqu'on se sert de quartz un peu mou.

Une autre version de l'oscillateur Pierce est donné par la figure 4, sur laquelle nous

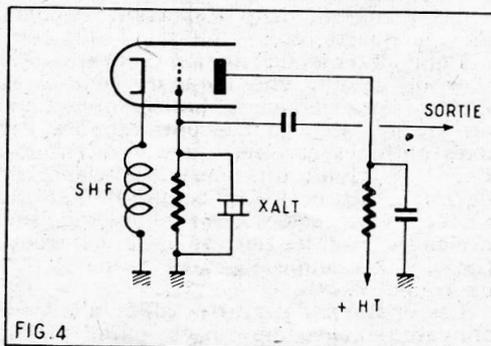


FIG. 4

voions que la plaque est à un potentiel HF zéro, tandis que la cathode est au même potentiel que sur la figure 3. La tension disponible est encore très petite si l'on conserve un courant de cristal normal. Ce montage nécessite une lampe possédant une capacité filament cathode suffisamment faible.

La figure 5 nous montre encore un oscillateur Pierce, mais cette fois-ci, la tension HF est plus importante, on a la possibilité de sortir les harmoniques 2 et 3 du cristal. Dans ce montage, nous utilisons une pentode, dont l'écran travaille comme une plaque de triode, jouant en même temps le rôle de grille pour la plaque de la pentode. Il faut choisir des tubes ayant une assez bonne pente, même des quartz ayant une faible activité sont susceptibles de fonctionner dans ces conditions.

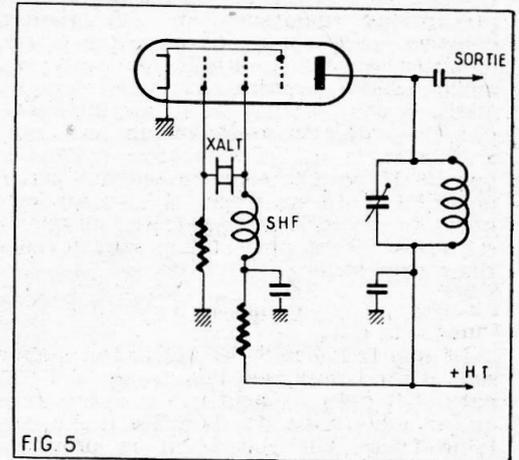


FIG 5

L'oscillateur à plaque accordée (fig. 6).

Cet oscillateur se rapproche de l'auto-oscillateur plaque grille accordée ; mais dans ce montage, le circuit grille est remplacé par un quartz qui en fixe la fréquence, ce qui n'est pas le cas pour l'oscillateur précité. La cathode est polarisée normalement, par une résistance qui est elle-même découplée par un condensateur. Le quartz se trouve en parallèle sur la résistance de fuite de grille. Le circuit accordé dans la plaque l'étant bien entendu sur la fréquence du quartz. Le fonctionnement est simple,

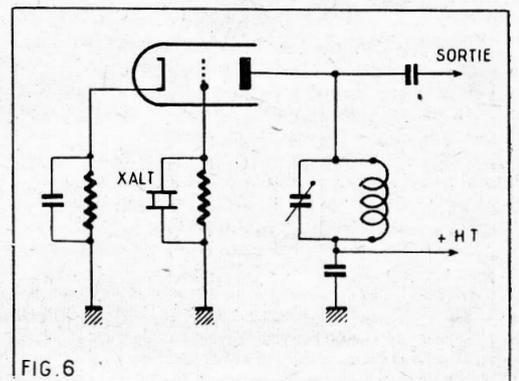
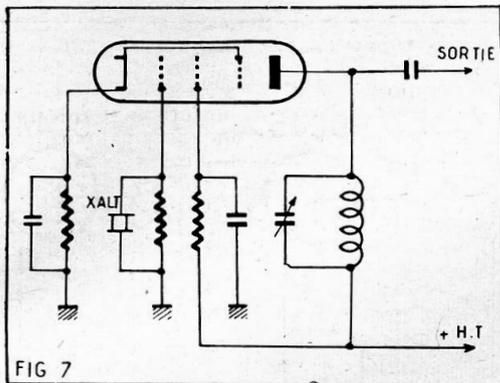


FIG. 6

dès que l'on applique une HT sur le tube, le quartz est excité par la tension continue se trouvant sur ses électrodes et entre en oscillation. A la même fréquence que celle de ces oscillations, nous trouvons sur la résistance de fuite de grille, une tension alternative qui fait varier le débit électronique du tube, faisant varier en même temps la tension continue sur la plaque, et comme le circuit plaque est accordé sur la fréquence de cette oscillation, nous pouvons recueillir aux bornes du circuit plaque une tension HF assez importante.

Le schéma précédent utilisant une triode, peut fonctionner avec une pentode comme



le montre la figure 7, cette disposition permet d'obtenir plus de HF sur le circuit accordé, par le fait que la capacité grille plaque d'une pentode ou d'une tétrode à faisceaux dirigés est plus petite que celle d'une triode. La réaction devra aussi être moins grande.

L'oscillateur Tritet.

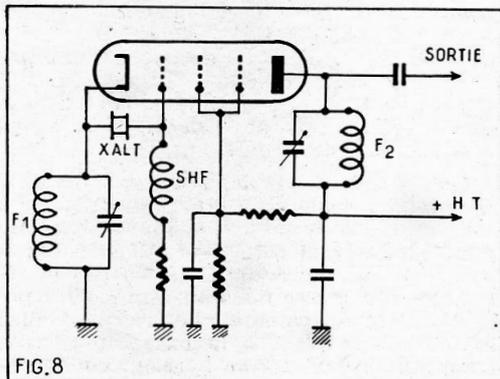
Ce schéma d'oscillateur (fig. 8) a été dénommé ainsi parce qu'il peut être comparé à un oscillateur comprenant une triode et une tétrode. Le montage Tritet est fréquemment employé, lorsqu'on veut obtenir l'harmonique 2 d'un cristal, et recueillir une tension relativement importante à la sortie de l'étage. Le fonctionnement de cet oscillateur comprenant deux lampes dans une seule, s'explique de la façon suivante : La triode est composée de la cathode, de la grille et de l'écran, le circuit oscillant dans la cathode est accordé sur la fréquence du cristal, la tétrode est composée de toutes les électrodes, la liaison entre les deux éléments étant électrochimique puisque toutes les électrodes sont contenues dans la même enveloppe. Il est bien entendu que le circuit plaque de lampe est accordé sur le double de la fréquence du cristal.

Une précaution à prendre avec cet oscillateur est de vérifier le courant du cristal pour ne pas dépasser le maximum permis. Pour éviter de briser le quartz, il suffit d'intercaler dans le circuit une ampoule fusible de 50 mA qui sera détruite rapidement, si le courant devient exagéré.

L'oscillateur Jones, à réaction cathodique.

Cet oscillateur est bien connu pour donner à sa sortie l'harmonique 2 et quelquefois 4 d'un quartz. Très souvent employé, il peut se présenter sous des formes diverses utilisées suivant l'activité du quartz. La figure 9 nous montre le schéma d'un oscillateur Jones, dans lequel la réaction est assurée par une self d'arrêt HF qui entretient les oscillations entre plaque et grille. Ce montage convient aux quartz très actifs et ne donne que peu de tension HF à sa sortie.

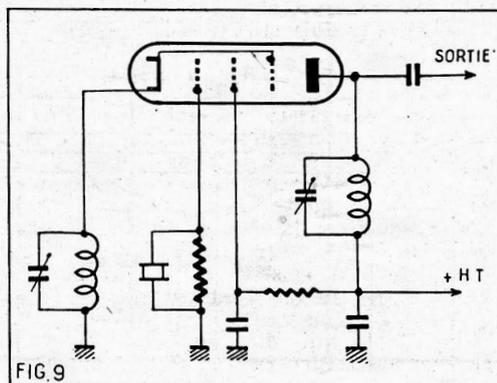
Le montage 10 est plus propice à la pro-



duction d'harmonique 2 et 4. Comme dans l'oscillateur Tritet, le quartz oscille avec une partie de la lampe (cathode grille et écran), sur la fondamentale et par couplage électronique, la partie pentode fournit les harmoniques, à condition que le circuit plaque soit réglé sur la fréquence 2 ou 4 du cristal. Très souvent utilisé dans les émetteurs et les convertisseurs VHF, cet oscillateur permet de n'utiliser qu'un petit nombre de tubes. Parfois avec des lampes possédant une pente très grande, le montage peut auto-osciller, dans ce cas, la self de choc sera avantageusement remplacée par une résistance non découplée.

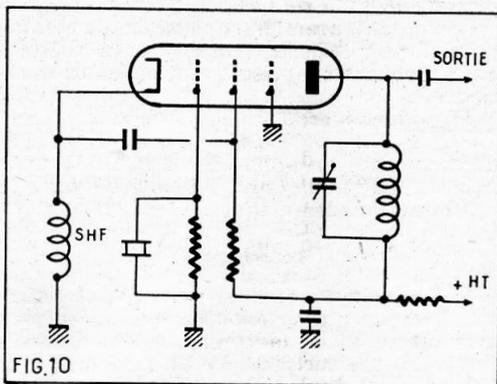
Les oscillateurs Overtone.

Sous ce chapitre, nous allons voir deux oscillateurs fournissant les harmoniques impaires des cristaux. La figure 11 nous montre le plus connu des circuits Overtone, le circuit plaque est accordé sur l'har-



monique 3 ou 5, une bobine de réaction couplée en sens inverse reporte une partie de la tension HF de la self plaque sur la grille à travers le quartz, ce qui entretient les oscillations.

Le système produit des tensions HF importantes sur les harmoniques impaires. Un seul ennui : il faut régler avec soin le



couplage de la bobine de réaction pour que le montage n'entre pas en auto-oscillation.

Le montage figure 12 est connu sous le nom d'oscillateur R. Dollar. Il est d'un réglage simple. Le circuit plaque est toujours accordé sur la fréquence harmonique à produire, mais son point froid n'est pas découplé à la masse, et nous trouvons sur ce point une tension décalée, qui, par un diviseur de tension composé de deux capacités, est appliquée à la grille à travers le quartz. Cette tension entretient l'oscillation. Le condensateur C1 est toujours d'une valeur plus importante, le rapport entre les deux condensateurs étant de 100 environ. Au moment de la mise en route, il y aura lieu de faire varier par essais successifs, la valeur du condensateur C2 de façon à obtenir une réaction suffisante pour l'entretien des oscillations et non une auto-oscillation.

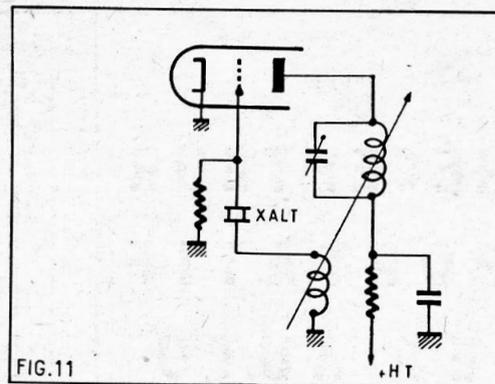


FIG.11

Réglage des oscillateurs cristal.

Les mesures dans les oscillateurs cristal sont d'une grande importance, d'une part, si l'oscillation est brutale le cristal peut se briser, et d'autre part, il se peut qu'une oscillation trop grande fasse échauffer le cristal et ne donne pas une bonne stabilité. Dans une réalisation, il est bon de prévoir plusieurs points de mesures, le courant plaque, la tension grille, toutes ces mesures à l'aide de résistances intercalées dans les circuits et qui permettent d'obtenir des mesures sans dessouder les montages et perturber les accords.

L'accord des circuits oscillants affecte toujours les cristaux d'une dérive faible,

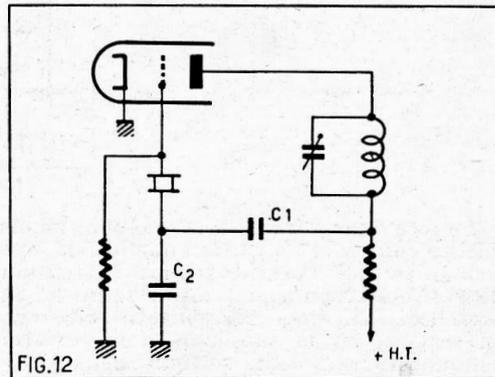


FIG.12

mais qui, si elle est multipliée, peut être gênante. Cette dérive se fait sentir au passage de l'accord correspondant à la fréquence du cristal.

A part, quelquefois, l'oscillateur Pierce, peu d'oscillateur donne la fréquence exacte du cristal. Il sera bon de choisir dans le calcul d'un quartz, au cas où la précision doit être de l'ordre de quelques kHz, une fréquence légèrement supérieure, qu'il sera facile de rattraper par l'adjonction aux bornes du cristal d'un condensateur ajustable.

Bien entendu, les précautions d'usages qu'il faut toujours avoir présentes à l'esprit lorsque l'on réalise un montage radio-électrique sont à appliquer aux oscilla-

(Suite page 65.)

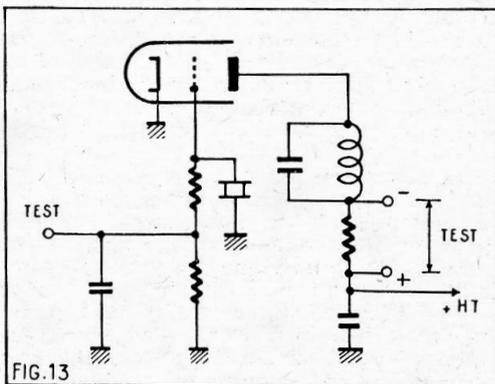


FIG.13

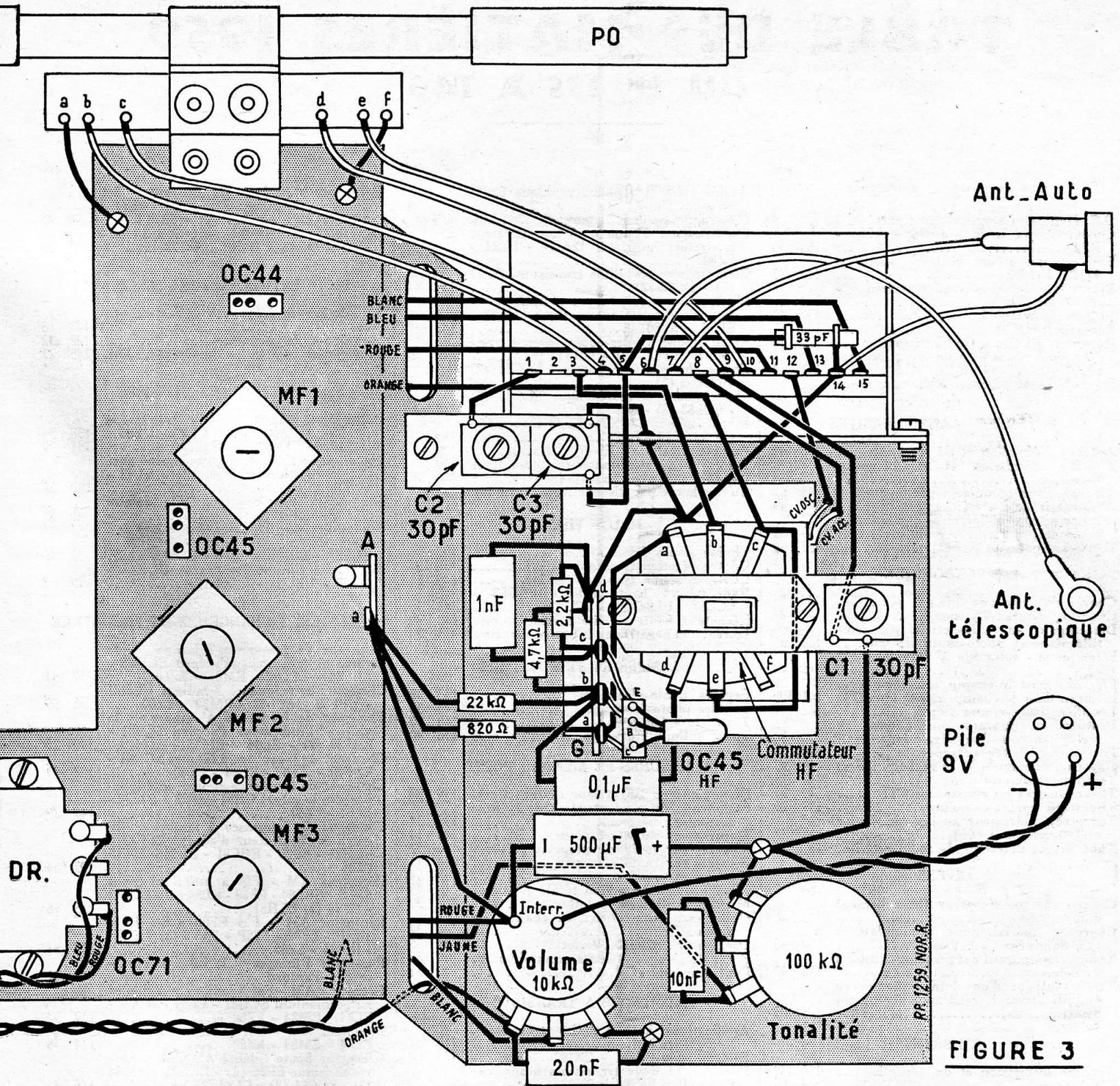


FIGURE 3

DE L'EFFET PHOTO-VOLTAIQUE A L'EXPLORER VI

(Suite de la page 46.)

L'Explorer VI.

On conçoit tout l'intérêt que présente la recharge des batteries qui alimentent les différents circuits électriques d'un satellite. Déjà certaines tentatives avaient été faites en garnissant les parois extérieures de plaquettes de silicium. Mais la surface utile ainsi obtenue était beaucoup trop faible. Notez bien que, là-haut, au-dessus de l'atmosphère terrestre, l'ensoleillement est perpétuel et que l'intensité de la lumière atteint des valeurs que nous ne connaissons pas.

Le satellite « Explorer VI » est muni de

panneaux recouverts d'éléments au silicium dont la surface totale est de l'ordre de 3 m². La surface exposée au soleil à chaque instant est nécessairement de 1,5 m². On peut déterminer que, dans ces

conditions, la puissance captée par les cellules doit être de l'ordre de 500 W.

Il y a là, certainement, de quoi alimenter les différents circuits électriques qui équiperont le satellite.

LES QUARTZ ET LES OSCILLATEURS A QUARTZ

(Suite de la page 59.)

teurs à cristal. Il faut des châssis, des bobines rigides, éviter les couplages parasites qui provoquent des accrochages intempestifs, ne pas oublier qu'une self de choc, couplée même légèrement avec un circuit oscillant, peut provoquer une oscillation. Lorsqu'on travaille avec des cristaux de fréquence élevée, prendre toutes précautions pour bien découpler toutes les élec-

trodes au même point de masse.

Dans un prochain article, nous verrons quelques auto-oscillateurs très employés par les amateurs et même les professionnels, et qui permettent de piloter les émetteurs ou servent d'oscillateurs dans les changements de fréquences des récepteurs et de convertisseurs.