

## LES OSCILLATEURS

### A QUARTZ

#### L'effet piézoélectrique

Tous les réseaux cristallins sont constitués de l'arrangement, régulièrement répété dans trois directions de l'espace, d'atomes porteurs de charges électriques. Le quartz est un cristal de silice, où voisinent des atomes de silicium (charges positives) et des atomes d'oxygène (charges négatives). Leurs dispositions géométriques relatives sont telles, qu'une traction, ou une compression, de directions convenablement choisies, entraînent l'apparition de charges électriques sur deux faces opposées. Les figures 1, 2 et 3 schéma-

**B** IEN qu'on sache maintenant tailler des quartz résonnant à des fréquences relativement faibles (quelques dizaines de kilohertz), le domaine des oscillateurs à quartz est surtout celui des hautes fréquences, du mégahertz à plusieurs dizaines de mégahertz.

La qualité essentielle de ces oscillateurs, réside dans la grande stabilité de fréquence qu'ils permettent d'obtenir. On les utilise donc comme pilotes soit pour des générateurs de référence servant d'étalons (oscillateurs de découpage dans les fréquencemètres digitaux, sources d'étalonnage pour d'autres appareils de mesure, etc...), soit comme oscillateurs HF des émetteurs de radio. Ce dernier cas englobe notamment un domaine cher aux amateurs : la radiocommande.

Avant d'aborder des exemples illustrant l'utilisation pratique des quartz, il nous paraît utile de rappeler les propriétés essentielles de ces cristaux.

tisent, en la simplifiant, cette propriété.

Dans la figure 1, le cristal est au repos. Une compression (figure 2) conduit à un excès d'atomes d'oxygène, donc de charges négatives, sur l'une des faces, et à un excès d'atomes de silicium, donc de charges positives, sur l'autre face. La traction de la figure 3 produit l'effet contraire.

Inversement, si on applique des différences de potentiel entre deux faces de la lame de quartz, le champ électrique ainsi créé, entraîne les déformations mécaniques des figures 2 et 3. Si la différence de potentiel varie alternativement dans le temps, il en va naturellement de même des déforma-

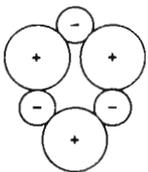


Fig. 1

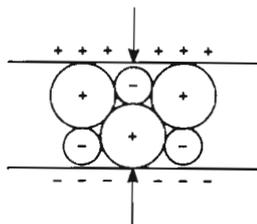


Fig. 2

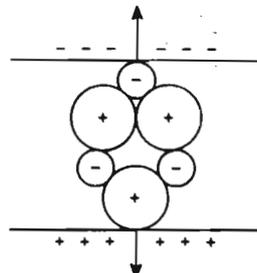


Fig. 3

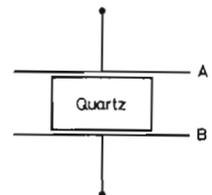


Fig. 4

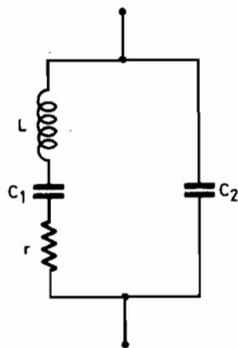


Fig. 5

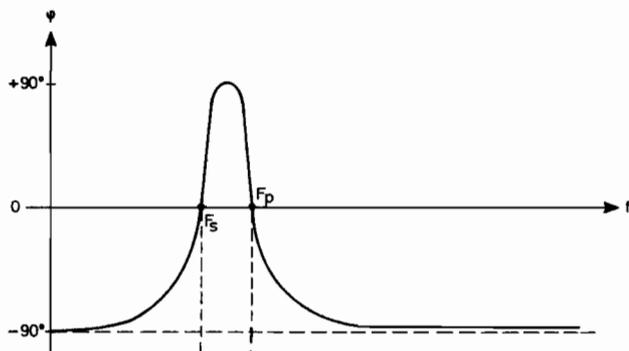


Fig. 6

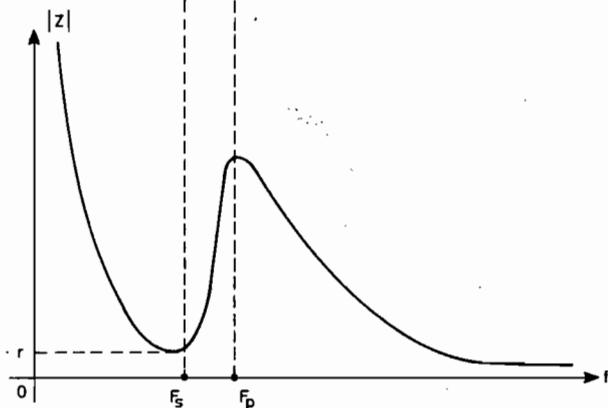


Fig. 7

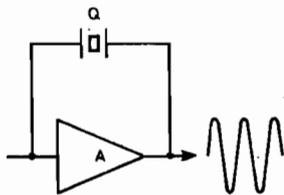


Fig. 8

tions. On assiste à un maximum de cet effet piézoélectrique, lorsque la fréquence du signal électrique égale la fréquence de résonance mécanique du cristal.

### Schéma électrique équivalent.

On utilise pratiquement le cristal du quartz en l'enfermant entre deux armatures métalliques, obtenues, par exemple, par évaporation sous vide. Du point de vue électrique, on peut démontrer que le quartz, ainsi monté (figure 4), est équivalent au schéma électrique de la figure 5. La self L correspond à l'inertie mécanique, la capacité  $C_1$  traduit l'élasticité, et la résistance  $r$ , la viscosité de la lame. La capacité  $C_2$  n'est autre que celle du condensateur formé par les armatures A et B.

En première approximation, les propriétés électriques du quartz s'apparentent donc à celles d'un circuit résonant, dont la qualité réside dans la très faible valeur de la résistance  $r$ : l'acuité des résonances est donc très grande. Une étude mathématique plus précise du circuit de la figure 5, permet de tracer les courbes des figures 6 et 7. La première représente les variations du déphasage entre la tension aux bornes du quartz et le courant qui le traverse, lorsque varie la fréquence. Dans la deuxième, on a figuré les variations du module de l'impédance.

Il apparaît deux fréquences de résonance, pour lesquelles  $\varphi$  s'annule. Pour la première,  $f_s$ , le module  $Z$  de l'impédance se réduit à  $r$ : c'est la résonance série. Ce module passe au contraire par un maximum pour la résonance parallèle, à la fréquence  $f_p$ . Cette dernière, liée à  $C_2$ , varie avec les capacités parasites éventuellement branchées en parallèle sur le quartz, et se trouve donc moins bien définie que  $f_s$ . Il convient de noter également (mais nous n'analyserons pas

ici ce phénomène), que  $f_s$ , comme  $f_p$ , dépendent plus ou moins de la température, selon l'orientation des faces du cristal, relativement à la dissection des axes du réseau.

### Les oscillateurs à quartz

Nous nous permettons de renvoyer le lecteur, pour une approche de la théorie générale des oscillateurs à réaction, à l'article de cette série consacré aux oscillateurs à déphasage (H.P. n° 1614). On se rappellera essentiellement que tous ces montages comportent un amplificateur (gain A, déphasage  $\varphi_1$ ), qui se referme sur lui-même à travers une boucle de réaction (gain B, déphasage  $\varphi_2$ ), et que la condition d'oscillation s'exprime mathématiquement par les deux relations :

$$A \cdot B = 1$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 0 \text{ ou } 360^\circ$$

Dans un circuit du type de la figure 8, le quartz constitue à lui seul le réseau de réaction. Si le déphasage  $\varphi_1$  de l'amplificateur est nul, l'oscillation se stabilisera à la fréquence  $f_s$  de résonance série, pour laquelle le module de l'impédance du quartz est minimal, se réduisant à sa résistance  $r$ . On peut aussi insérer le quartz dans l'amplificateur lui-même, et constituer le réseau de réaction par des composants passifs (résistances, condensateurs); l'exemple pratique qui suit, nous dispense d'en faire une étude générale préalable.

### Un montage universel d'oscillateur à quartz

Utilisable sans modification (autre, naturellement, que le changement du quartz) pour

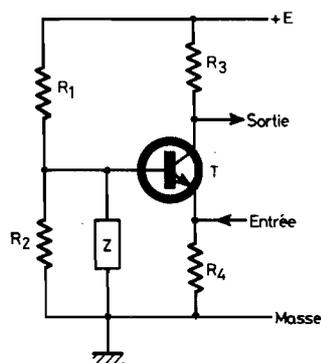


Fig. 9

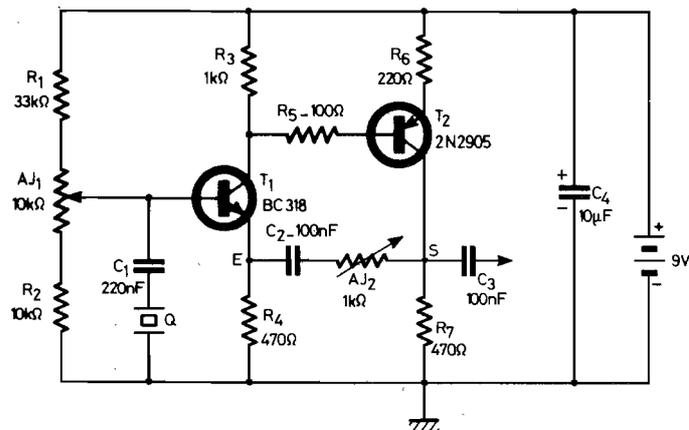


Fig. 10

des fréquences comprises entre quelques centaines de kilohertz et une dizaine de mégahertz, ce circuit repose sur l'emploi d'un étage amplificateur à base commune, dont la figure 9 rappelle le principe. L'entrée s'effectue sur l'émetteur, aux bornes de la résistance  $R_4$ ; on recueille les signaux de sortie sur le collecteur, chargé par  $R_3$ , et où ils sont en opposition de phase avec l'entrée.

L'expression « base commune » signifie que, du point de vue des signaux alternatifs, la base puisse être considérée comme reliée à la masse. Dans le cas d'un amplificateur aperiodique, on satisfera à cette condition en insérant, entre base et masse, une impédance offrant une grande résistance (pour ne pas perturber le pont de polarisation  $R_1$ ,  $R_2$ ), mais une très faible composante imaginaire: il s'agira donc d'un condensateur de forte capacité.

Remplaçons maintenant ce condensateur par un quartz: l'impédance n'est très faible qu'à la résonance série, donc pour la fréquence  $f_s$ . Pour toutes les autres fréquences, la base n'étant plus à la masse, le gain de l'amplificateur baisse rapidement.

Cette propriété est utilisée dans le schéma complet de la figure 10, où  $T_1$  travaille en

amplificateur à base commune, pour la fréquence de résonance série du quartz Q. On notera la présence du condensateur  $C_1$ , évitant au quartz de supporter, en plus du signal alternatif, la composante continue de polarisation de la base du transistor. Le deuxième étage d'amplification, construit autour du transistor PNP  $T_2$ , introduit lui aussi un déphasage de  $180^\circ$ . Finalement, entre l'entrée E et la sortie S, la rotation de phase atteint  $360^\circ$ , ce qui revient à dire que les signaux de sortie sont en phase avec les signaux d'entrée; on pourra se contenter d'un réseau de réaction purement résistif, n'introduisant lui-même aucun déphasage. C'est le rôle que joue la résistance ajustable  $AJ_2$ , grâce à laquelle on peut régler le gain B de la boucle de réaction.

En fait, le décalage des tensions continues, entre la sortie et l'entrée, impose la présence du condensateur  $C_2$ . Si sa capacité est suffisamment élevée pour qu'on puisse en négliger l'impédance à la fréquence d'oscillation,  $C_2$  n'apporte aucun déphasage sensible.

## La mise au point expérimentale

Elle concerne les deux résistances ajustables  $AJ_1$  et  $AJ_2$  du circuit de la figure 10, prévu pour fonctionner sous une tension de 9 volts.  $AJ_1$  commande la polarisation du premier étage, donc de l'ensemble de l'amplificateur, puisque la liaison de  $T_1$  à  $T_2$  ne fait intervenir aucun condensateur.  $AJ_2$ , qui règle le gain de la boucle de réaction, détermine l'entrée en oscillation.

On dégrossira les réglages en l'absence du quartz, pour trouver une tension continue de 3,5 volts environ, sur le collecteur de  $T_2$ . Quartz en place,  $AJ_2$  sera réglée à une valeur légèrement inférieure à celle qui détermine l'accrochage. Par observation, à l'oscilloscope, de la tension de sortie, on pourra finalement retoucher  $AJ_1$  pour accéder à la meilleure forme possible, proche de la sinusoïde parfaite.

## Pour nous résumer

- Les cristaux de quartz sont des résonateurs électro-mécaniques, caractérisés par un fort coefficient de surtension.

- Associés à des circuits amplificateurs, les quartz permettent de réaliser des oscillateurs très stables en fréquence.

- Il existe de nombreux schémas d'oscillateurs à quartz: celui dont nous avons détaillé l'étude, s'applique universellement à des fréquences comprises entre quelques centaines de kilohertz, et plusieurs mégahertz.

R.R.