

V Le quartz

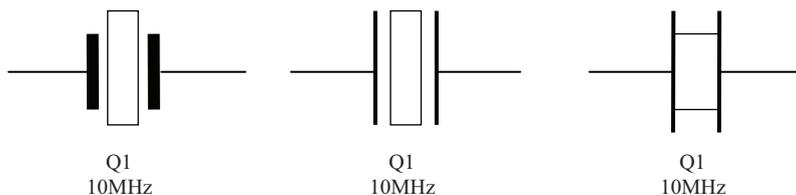
V.1 Généralités

Le quartz est un composant passif composé d'une lame de quartz qui est, en général, scellée hermétiquement dans un boîtier avec au moins 2 connexions externes. La lame est découpée dans le cristal de quartz suivant un axe de découpe très précis et avec des dimensions (surtout l'épaisseur) définissant sa fréquence de vibration. La lame est recouverte sur ses 2 cotés opposés, d'un métal très conducteur collé ou déposé par métallisation sous vide et qui servent d'électrodes reliées aux 2 connexions extérieures (voir les photos ci-dessous).

Le quartz est constitué de silice (SiO₂) cristallisé dans un système hexagonal. Il est assez répandu dans la nature mais relativement rare avec un degré de pureté suffisant pour son utilisation en électronique.

Le cristal de quartz utilisé en électronique est en général un produit de synthèse obtenu au cours d'un processus industriel assez lent (jusqu'à plusieurs mois) pour obtenir les caractéristiques désirées (pureté, etc..).

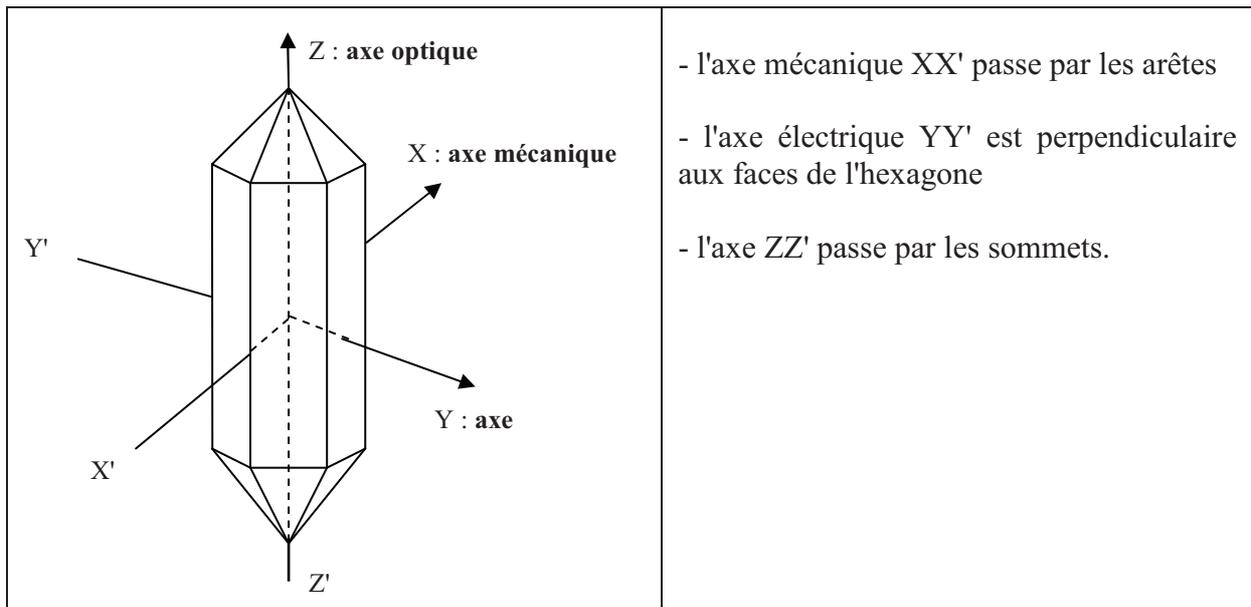
La représentation du composant "Quartz" dans un schéma peut prendre les formes suivantes :
(Une lame de quartz entre 2 électrodes et en dessous la lettre Q ou Y suivi de la fréquence)



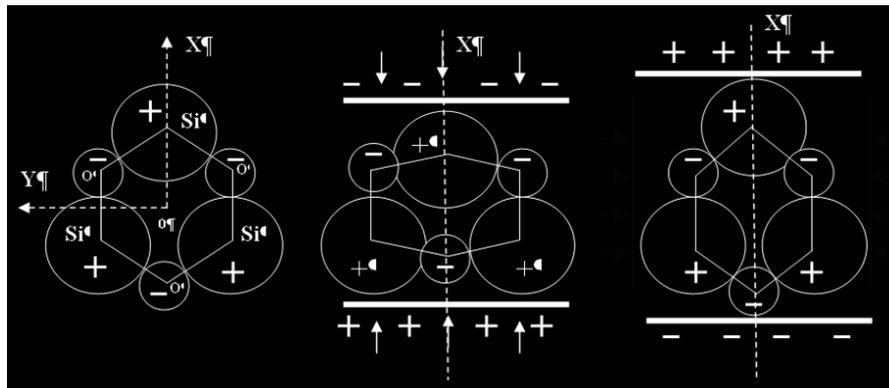
Exemples de quartz avec le boîtier ouvert

<p>Ancien quartz démonté, fréquence de 4535 KC = 4,535 MHz. La lame est prise en sandwich entre 2 plaques métalliques qui sont en contact uniquement aux 4 coins de la lame. Un ressort assure le contact entre la lame et les 2 plaques métalliques.</p>	<p>Fréquence : 1 MHz, la lame de quartz est ronde, plus épaisse au centre que sur le bord.</p>	<p>Ancien quartz en tube de verre d'une fréquence de 113,100KCS = 113,1 kHz</p>

La structure cristalline du quartz comporte trois axes de symétrie. :



Le quartz est surtout utilisé en électronique pour sa propriété piézoélectrique. Si on applique une force mécanique parallèlement à l'axe mécanique XX', il apparaît une polarisation électrique parallèlement à l'axe électrique YY'. La réciproque est vraie.



Structure simplifiée d'une lame de quartz, si on exerce une pression, il y a alors apparition d'un champ électrique (différence de position des atomes de Si et O).

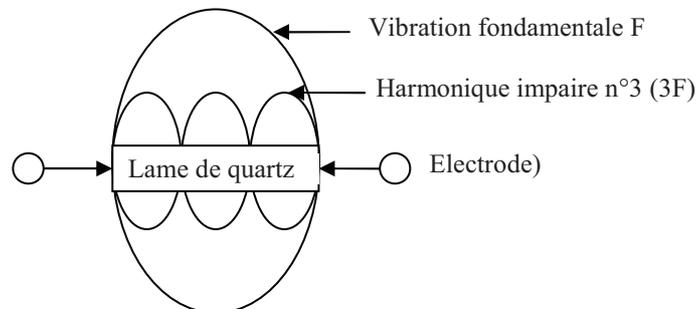
L'impédance de la lame de quartz, munie de ses 2 électrodes, varie brusquement aux alentours des fréquences d'oscillations mécaniques de la lame qui dépendent entre autres de ses dimensions.

Cette propriété est mise à profit dans les oscillateurs de précision.

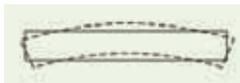
Remarque : d'autres matériaux présentent aussi cette propriété Piézoélectrique : le niobate ou le tantale de lithium, l'oxyde de germanium-bismuth, la céramique Plomb-Zinc-Tantale (PZT) et certains polymères après un traitement adéquat.

Les modes de vibration

Les modes de vibration les plus employés dans l'électronique sont les vibrations de flexion et de cisaillement. La vibration est soit de type fondamentale (f) soit de type harmonique impaire (3f, 5f, 7f, ...).



Les **vibrations de flexion** sont mises à profit dans la réalisation de résonateurs basses fréquences (1 à 40 kHz) mais avec un inconvénient sur la précision de la fréquence qui est en général faible.



Extrait de la documentation Jauch GmbH

Les vibrations d'extension :



Les **vibrations par cisaillement** d'épaisseur sont les plus utilisées, les fréquences en oscillation fondamentale varient de 100 kHz à 70 MHz.

<p>Mode de vibration par cisaillement de face Extrait de la documentation Jauch GmbH</p>	<p>Mode de vibration par cisaillement d'épaisseur Extrait de la documentation Jauch GmbH</p>

Les coupes pour les vibrations de cisaillement

La coupe de la lame de quartz peut s'effectuer selon plusieurs modes :

- la coupe DT (fréquence de 100 kHz à 1 Mhz)
- la coupe AT (fréquence de 1 à 70 Mhz en fondamentale). La coupe AT est la plus utilisée, la lame de quartz est découpée parallèlement à un plan contenant l'axe XX' fait un angle de 35° avec l'axe ZZ'. Cet angle est très précis
- autres coupes : BT, CT, NT, GT, SC, XT.

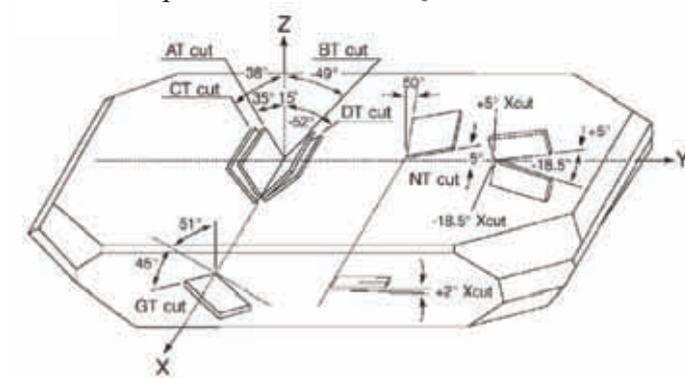
La limite haute de la fréquence fondamentale se situe vers 30 Mhz car l'épaisseur de la lame devient de plus en plus fine en fonction de l'augmentation de la fréquence et elle risque de se briser facilement sous des contraintes mécaniques. Certains fabricants peuvent fournir des quartz ayant une fréquence fondamentale jusqu'à 70 MHz.

Pour des fréquences supérieures, on utilise le mode de vibration harmonique impaire (ou partiel ou overtone en Anglais).

La précision sur la fréquence donnée par le constructeur est très élevée : quelques parties par million (de 2 à 100 ppm, soit de 2Hz à 100 Hz pour un quartz de 1 MHz).

La coupe est importante pour minimiser les effets de la température.

Voir ci-après, les différentes coupes d'un cristal de Quartz :

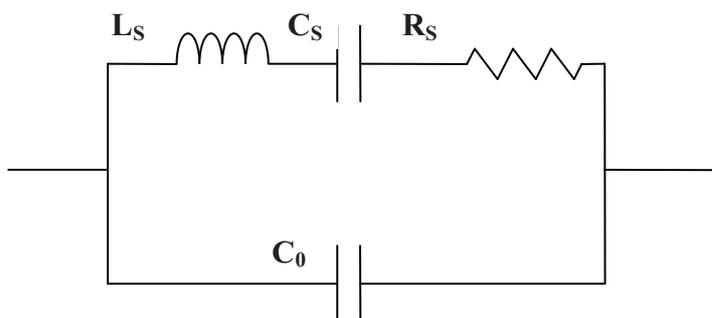


Angles de coupe (Extrait d'un document FOXElectronics)

Sur le schéma ci-dessus, on peut voir que les angles de coupe sont très précis.

V.2 Schéma équivalent

Le schéma ci-dessous permet de représenter électriquement le fonctionnement de la lame de quartz reliée par ses 2 électrodes. Les éléments L_s , C_s et R_s n'existent pas réellement et ils sont présents pour simuler électriquement le comportement de la lame de quartz.



L_s : inductance représentant la masse de la lame de quartz,

C_s : capacité représentant la rigidité de la lame,

R_s : représente les pertes électriques lors des oscillations de la lame,

C_0 : la capacité des électrodes placées d'un coté et de l'autre de la lame.

Ordre de grandeur des éléments ci-dessus :

Fréquence de résonance	Ls (en H)	Cs (en pF)	Rs (en Ω)	C ₀ (en pF)	Facteur Q
32,768 kHz	7860	0,003	32 000	1,5	50 000
100 kHz	50	0,050	400	8	80 000
200 kHz	27	0,024	2 000	10	100 000
1 MHz	4	0,006	240	3	110 000
10 MHz	0,01	0,030	5	8	100 000

La résistance R_S varie suivant la coupe :

- DT : 1 k Ω à 5 k Ω

- AT : ~ 30 Ω mode fondamentale et de 50 Ω à 200 Ω mode harmonique.

A la lecture des valeurs ci-dessus, on se rend compte que ces valeurs ne pourraient être obtenues par des bobines et condensateurs classiques (même au format CMS).

Le facteur de qualité Q peut atteindre une valeur de 100 000 à 1 000 000, il est à comparer à celui d'un réseau LC classique (quelques centaines). Ce facteur de qualité diminue lorsque le quartz est inséré dans un montage.

Exemple de données constructeur pour des quartzs en boîtier HC-49/U (extrait de la documentation Jauch GmbH)

Informations générales

Type	Boîtier (HC49/U) Fréquence de vibration Fondamentale ou Harmonique et type de coupe
Gamme de fréquences	0,92160 – 1,00MHz (Fond., SL)
	1,8432 – 40,0 MHz (Fond., AT)
	20,0 – 105,0 MHz (3 ^{ème} , AT)
	50,0 – 175,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
	70,0 – 250,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
Tolérance fréquence à 25°C	± 3 ppm à ± 50 ppm
Capacité de charge Cl	8 pF à 32 pF ou série
Capacité parallèle C₀	< 7 pF
Puissance maximale	1,0 mW
Vieillessement (Aging)	< ± 5 ppm la 1 ^{ère} année

Résistance Série Rs (en Anglais ESR)

Fréquence en MHz	Mode de vibration et coupe	ESR max. en Ω	ESR type en Ω
0,92 - 1,000	Fond., SL	3000	800
1,8432	Fond., AT	800	400
2,00 – 2,999	Fond., AT	400	200
3,00 -3,4999	Fond., AT	150	50
3,57 – 6,999	Fond., AT	60	20
7,00 – 12,999	Fond., AT	30	15
13,0 – 40,000	Fond., AT	20	10
20,0 – 29,999	3 ^{ème} , AT	80	35
30,0 – 105,00	3 ^{ème} , AT	60	30
50,0 – 175,00	5 ^{ème} , AT	150	70

V.2.1 Les résonances série et parallèle

A la vue du schéma équivalent on se rend compte que l'on a l'équivalent d'un circuit :

- LC **série** classique constitué des éléments de la branche du dessus L_s, C_s, (amorti par la résistance R_s)
- LC **parallèle** classique (bouchon) constitué des éléments L_s, C_{eq} (équivalent à la mise en série des condensateurs C_s et C₀). Vu les valeurs de C_s et C₀ (voir ci-

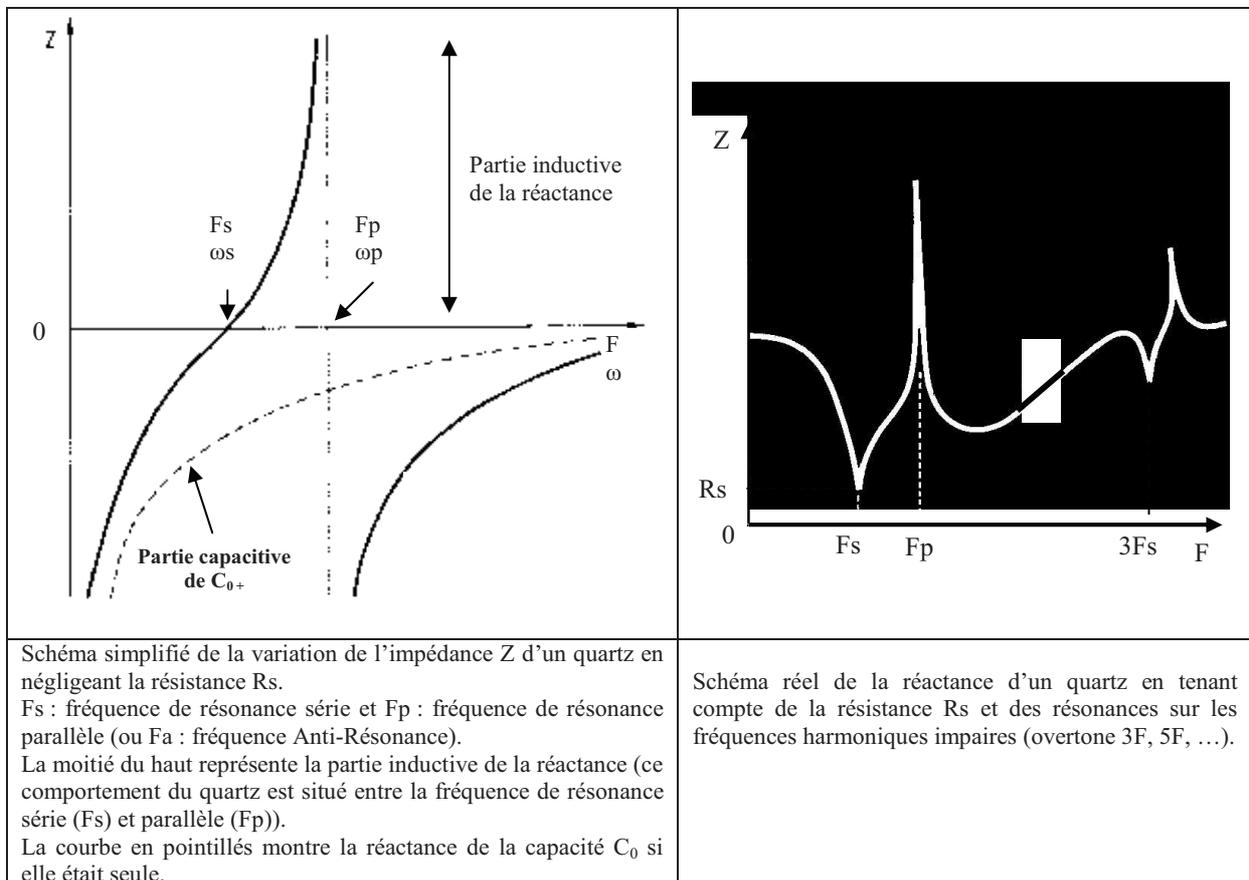
dessus l'ordre de grandeur), la capacité C_{eq} est presque égale à C_0 (amortie par la résistance R_s).

Remarque : la fréquence de résonance du circuit parallèle est toujours très légèrement supérieure à celle du circuit série.

Tableau récapitulatif

Fréquence de résonance série	$F_s = \frac{1}{2\Pi\sqrt{L_s * C_s}}$
Fréquence de résonance Parallèle	$F_p = \frac{1}{2\Pi\sqrt{L_s * C_{eq}}}$
Avec C_{eq} (équivalent)	$C_{eq} = \frac{C_s * C_0}{C_s * C_0}$
Facteur de qualité	$Q = \frac{2\Pi * F_s * L_s}{R_s} = \frac{1}{2\Pi * F_s * C_s * R_s}$
Ratio des capacités	$R_t = \frac{C_0}{C_s}$
Figure de mérite	$M = \frac{Q}{R} = \frac{1}{2\Pi * F_s * C_0 * R_s}$

V.2.2 Schémas de la variation de la réactance (impédance) d'un quartz



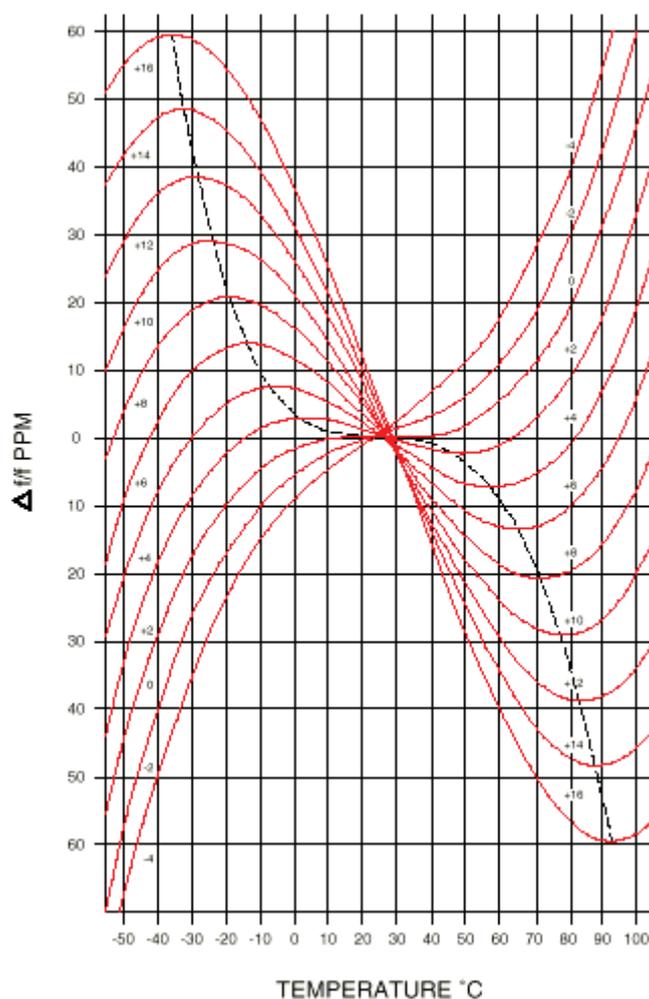
Lors de l'utilisation d'un quartz dans un montage oscillateur ou autre, il faut sélectionner le quartz approprié pour une résonance "série ou parallèle" à indiquer au fabricant.

Influence de la température

Coupe DT

Coupe AT

Les courbes $\Delta f/f$ dépendent de l'angle de coupe. Toutes les courbes passent par 0 entre 20° et 30°. Si on désire placer le quartz dans une enceinte thermo statée, on choisit en général une température de 65° à 75°.



Extrait de la documentation Hy-Q International

V.3 Dérive dans le temps, vieillissement

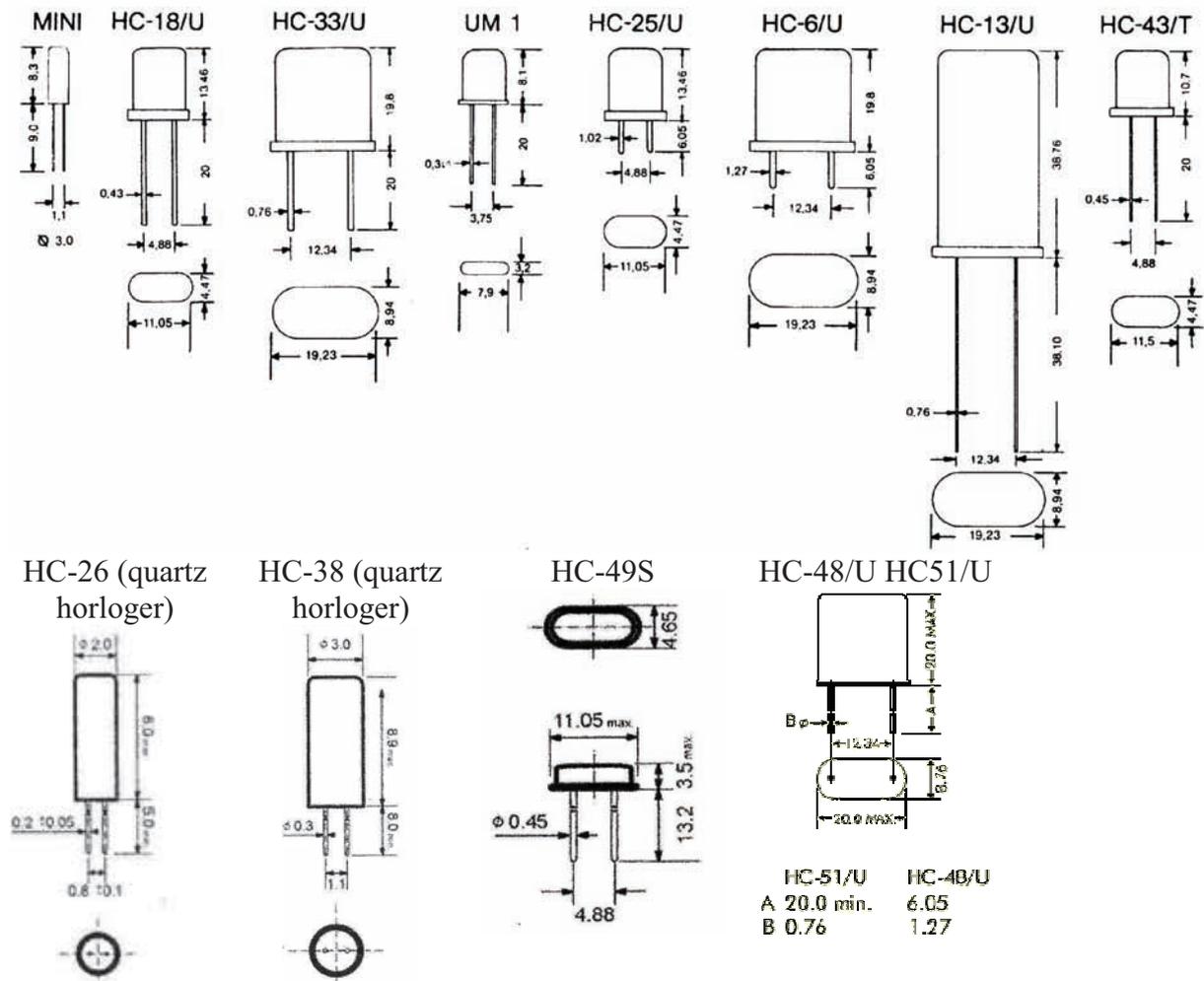
La dérive dans le temps de la fréquence est très faible (voir les caractéristiques données par un fabricant dans le tableau ci-dessus : $< \pm 5$ ppm la première année). Cette dérive de la fréquence dans le temps est connue sous le terme Anglais « Aging ». Elle est liée à la technologie utilisée, le quartz perd quelques impuretés, de la matière, les électrodes et fils de connexions se modifient. Il est important de respecter la puissance maximale d'entraînement de la lame au

risque d'une perte de matière ou même de casse. Si le quartz est enfermé dans une enceinte remplie de gaz, quelques molécules peuvent se fixer sur la lame. C'est pourquoi on enferme le quartz dans une enceinte hermétique remplie de gaz inerte ou mieux sous vide.

V.4 Les différents boîtiers

Les boîtiers de quartz sont normalisés (ou déposés) par (auprès de) l'EIA (Electronic Industries Association) RS-417 et MIL-STD-683. Les boîtiers les plus connus sont pour :

- les hautes fréquences HC-18/U, HC-25/U, HC-45/U et HC-49/U
- les basses fréquences HC-6/U, HC-13/U, HC-33/U et HC-32/U
- et actuellement d'autres boîtiers au format CMS (composants montés en surface)



V.5 L'oscillateur à quartz

V.5.1 L'oscillateur à éléments discrets

L'oscillateur à quartz à éléments discrets utilise un ou des transistor(s) ou circuit(s) intégré(s), des condensateurs et bobine(s).

Pour élaborer le montage, le concepteur choisit le type d'oscillateur (Colpitts, Pierce, etc..) en fonction de son cahier des charges : utilisation de la résonance série ou parallèle du quartz, stabilité, bruit, disponibilité des éléments, réglages, reproductibilité, coûts, etc. Le choix de

montage effectué, il faut sélectionner le quartz approprié (résonance série ou parallèle, précision sur la fréquence, capacité de charge (indiquée par le constructeur)).

Les 2 conditions à remplir pour obtenir une oscillation dans un circuit en boucle fermée est :

- Le gain de la boucle fermée doit être supérieur ou égal à 1,
- Le déphasage le long de la boucle fermée est de $N * 360^\circ$ ($N = \text{un entier}$)

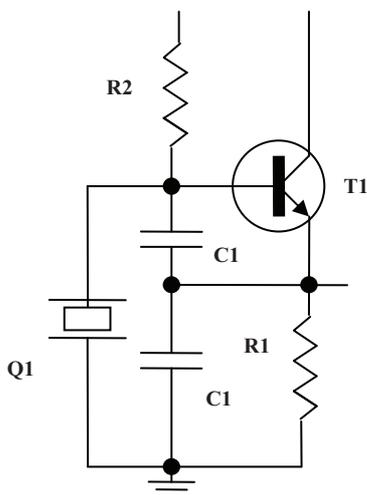
Remarque : le bruit du circuit doit être suffisant (mais pas trop) pour démarrer l'entrée en oscillation du circuit.

Dans le cas d'un oscillateur à quartz, il faut respecter le niveau d'entraînement (# puissance dissipée) du quartz qui est très faible en général de $500\mu\text{W}$ à 1mW pour les quartzs standards et de l'ordre de $1\mu\text{W}$ pour les plus petits et fragiles (quartz horloger).

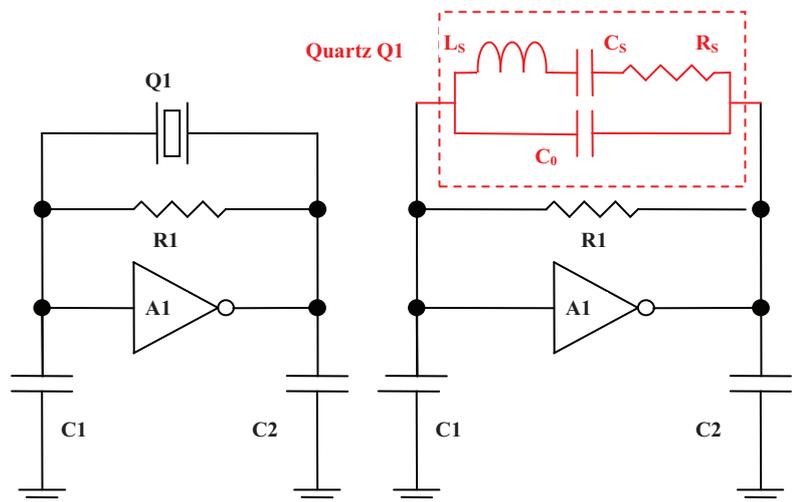
Il faut respecter aussi la capacité de charge indiquée par le fabricant faute de quoi, la fréquence indiquée ne pourra pas être obtenue (en général de 7 pf à 30 pf suivant les modèles, coupe, résonance).

Exemples d'oscillateur :

L'oscillateur de Colpitts, Pierce, Hartley, ...



Oscillateur à quartz à transistor (Colpitts)



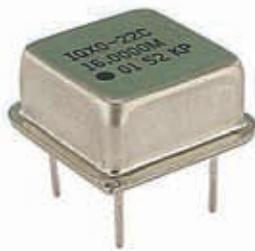
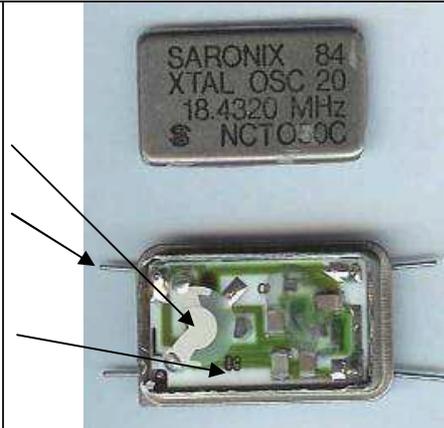
Oscillateur à quartz à porte logique (Hartley) et son schéma équivalent
La résistance R1 permet de linéariser la porte A1 en amplificateur.

V.5.2 L'oscillateur à quartz standard

L'oscillateur à quartz standard est un oscillateur hybride (voir photo ci-dessous) fabriqué par l'industrie pour remplacer un montage classique à base de transistors, résistances et condensateurs. En général, il se présente sous la forme d'un boîtier hermétique au format DIL8 ou DIL14 (Dual in Line) avec 4 connexions externes.

Exemple d'un oscillateur standard à quartz en boîtier DIL14, on aperçoit :

- la lame de quartz qui est ronde et très fine adaptée à la fréquence de 18,4320 MHz,
- L'une des 4 connexions externes sous le boîtier,
- le circuit électronique avec les composants montés en surface sur un substrat en céramique.



Boîtier au format DIL 8

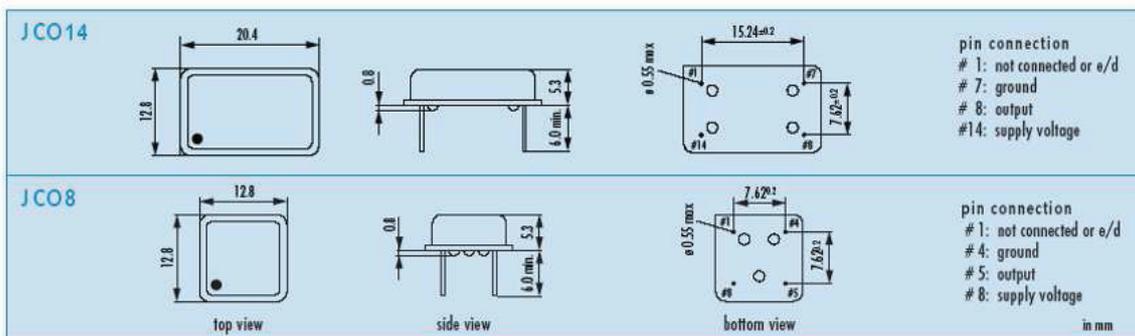


Boîtier au format DIL14

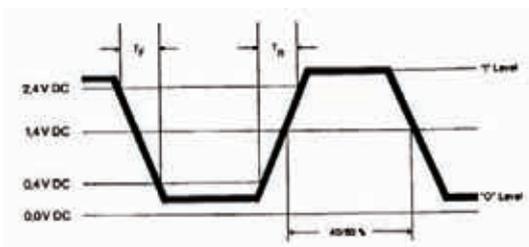
Caractéristiques techniques principales : alimentation : 5V (15 à 60mA), sortance 10 charges TTL, gamme de température 0° à 70°, stabilité ±10 ppm entre 0° et 70°, temps de montée et de descente : 10ns, vieillissement 100ppm sur ans.

Remarque : actuellement, l'utilisateur a le choix des tensions entre 5V et 3.3V.

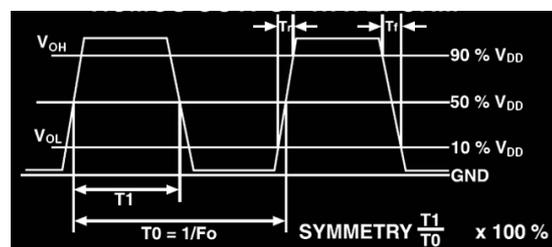
Brochage extrait de la documentation Jauch Quartz gmbh :



Le signal en niveau TTL



en niveau HCMOS



Remarques Les oscillateurs à quartz récents ont des tensions d'alimentation adaptées aux nouvelles technologies, par exemple 3.3V.

V.5.3 Les oscillateurs à quartz haute stabilité

La fréquence d'un oscillateur à quartz dérive en fonction de la variation de la température et de son vieillissement, due en partie au quartz. Pour minimiser la dérive, les fabricants fournissent des oscillateurs compensés en température et vieillis ; plusieurs techniques sont mises en œuvre en fonction des critères et des coûts à obtenir.

- **ATCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée analogiquement,
- **CDXO** — double oscillateur à cristal calibré,
- **MCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée par microcontrôleur,
- **VCXO** — oscillateur à cristal dont la fréquence est contrôlée par la tension,

TCXO : oscillateur à quartz compensé en température (Temperature Compensated X-tal (Crystal) Oscillator). La compensation est soit analogique soit numérique et elle utilise une diode à capacité variable pour corriger la dérive de la fréquence de l'oscillateur en fonction de la température. Pour une meilleure compensation, on utilise la compensation numérique (**DTCXO** (Digital Temperature Compensated Quartz Oscillator), envoyée à la diode varicap par l'intermédiaire d'un convertisseur Numérique/Analogique.

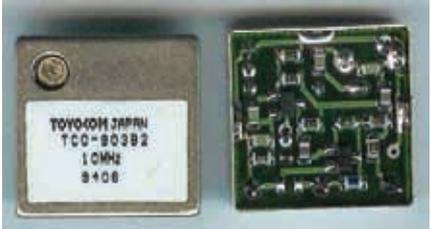
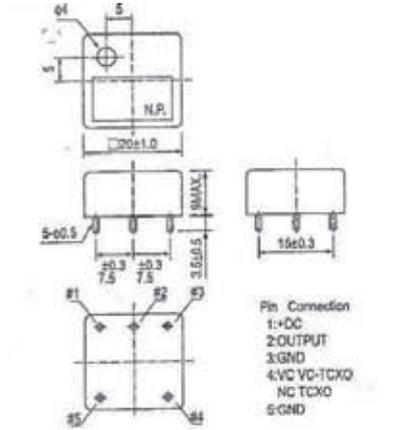
TCVCXO : oscillateur à quartz compensé en température (Temperature Compensated X-tal (Crystal) Oscillator), dont la fréquence est contrôlée par la tension,

OCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**O**ven **C**ontrolled **X**-tal(Crystal) **O**scillator). La lame de quartz est enfermée dans une enceinte isolée dont la température (70° à 90°) est régulée par un élément de chauffe et une sonde de température. Ce procédé améliore la stabilité en fréquence du quartz par un facteur de dix (ou plus).

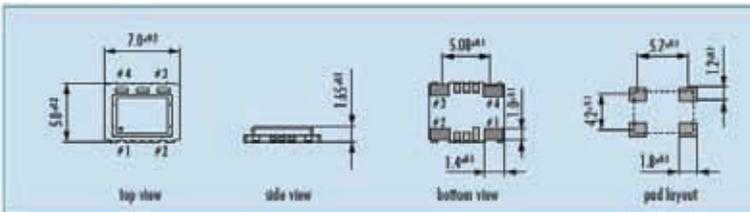
OCVCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**OCXO**) à fréquence contrôlée par la tension.

RbXO : pour une plus grande stabilité et précision, l'industrie fabrique des oscillateurs au Rubidium RbXO (**R**ubidium **X**-tal (Crystal) **O**scillators), c'est un oscillateur à cristal (par exemple un MCXO) synchronisé par une source rubidium.

Quelques exemples d'oscillateurs TCXO, VCTCXO, OCXO,

	 <p>Pin Connection 1:+DC 2:OUTPUT 3:GND 4:VC-TCXO NC TCXO 5:GND</p>	<p>Oscillateur TCXO 10 MHz Alimentation : 5V Stabilité : 3 ppm de -10° à 60° Réglage de la fréquence sur le dessus Sortie : sinus écrêté 1V Impédance de charge : 20 kΩ</p>
---	---	--

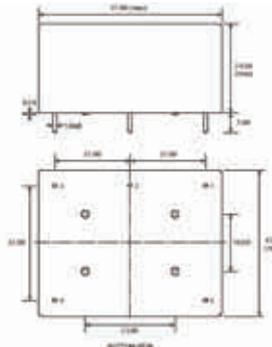




TCXO	VCTCXO
JT75	JT75V
#1: GND	#1: Vcontrol
#2: GND	#2: GND
#3: output	#3: output
#4: Vcc	#4: Vcc

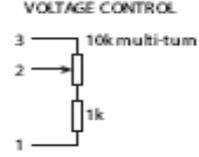
La version VCTCXO permet d'effectuer un réglage fin de la fréquence d'oscillation
Extrait de la documentation Jauch Quartz GmbH





PIN	CONNECTION
1	Ground
2	Freq adjustment
3	Ref voltage out
4	Supply
5	RF output

VOLTAGE CONTROL



Stabilité de 0.01ppm à 0.003ppm Alimentation de 12V
Extrait de la documentation Golledge

V.6 Le testeur de quartz

Dans le domaine amateur, il est possible de vérifier le bon fonctionnement d'un quartz grâce à un testeur de quartz. Le principe de test est le suivant : le quartz à tester est inséré dans un montage oscillateur tel que décrit plus haut (oscillateur de Colpitts, etc..) et de vérifier/mesurer que l'oscillation fonctionne, par exemple en détectant sa présence par une diode et un condensateur et un millivoltmètre classique (ou par mesure au fréquencemètre ou à l'oscilloscope).

V.7 Le filtre à quartz

Le filtre à quartz est un choix optimisé pour des applications qui nécessitent une bande passante étroite en (très) hautes fréquences avec des flancs très abruptes. C'est dû en partie au coefficient de surtension (qualité Q) très élevé et à l'étroitesse de la bande passante de l'ordre de 0,01% à 0,5% et cela avec une perte d'insertion faible.

Le filtre à quartz peut être choisi directement dans le catalogue d'un fabricant ou réalisé à la demande par celui-ci en fonction du cahier des charges fourni. Il peut aussi être réalisé par l'amateur en éléments discrets : mise en série de plusieurs quartz de même fréquence associés à des condensateurs.

Rappels de termes concernant le filtre :

La fréquence de référence (ou centrale) (Centre Frequency) est définie dans les spécifications. Les autres fréquences sont référencées par rapport à celle-ci. En général, c'est la fréquence centrale du filtre ou la fréquence de la porteuse dans les filtres pour bande latérale unique (BLU).

L'atténuation relative est la différence entre l'atténuation à une fréquence donnée et l'atténuation minimale à l'intérieur de la bande passante ou l'atténuation à la fréquence de référence.

La bande passante est une gamme de fréquences de largeur B (exprimée en Hz ou kHz) à l'intérieur de laquelle l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

La largeur de la bande passante (Pass Band width) est la différence des fréquences entre lesquelles l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

L'ondulation à l'intérieur de la bande passante R (Ripple) (exprimée en dB) est la différence entre l'atténuation maximale et minimale à l'intérieur de la bande passante.

La perte d'insertion L (Insertion loss) exprimée en dB, à une fréquence donnée est l'atténuation résultant de l'insertion du filtre dans le système de transmission. C'est le logarithme du ratio de la puissance délivrée à la charge avant insertion du filtre par la puissance délivrée à la charge après insertion du filtre. Ce terme est souvent employé en référence à la valeur minimale de l'atténuation du filtre à l'intérieur de la bande passante.

La fréquence de coupure (Cut Off Frequency) est la fréquence de la bande passante spécifiée à 3dB ou 6dB

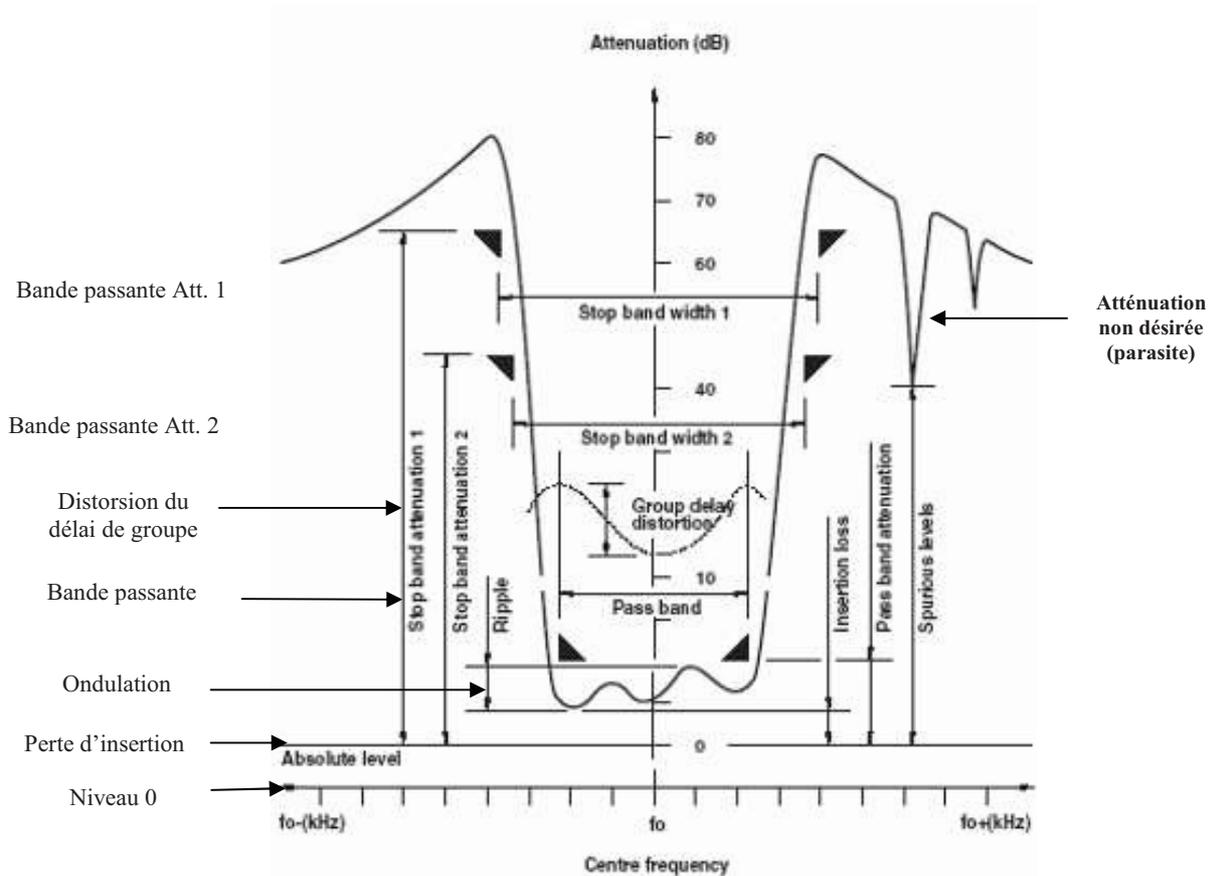
La bande de blocage (Stop Band) : bande (s) de fréquences dans laquelle l'atténuation relative est égale ou supérieure à la valeur minimale spécifiée.

Réponse d'atténuation parasite (Spurious Response Attenuation) : l'atténuation minimale A4(dB) garantie pour la réponse parasite dans la bande de blocage. Les réponses parasites se produisent en général à des fréquences supérieures à la fréquence centrale.

L'atténuation garantie (Guaranteed Attenuation) est l'atténuation minimale garantie dans la gamme spécifiée de fréquences.

Les impédances de terminaison (Input/Output Impedance) sont celles présentées au filtre en entrée et en sortie, ces impédances sont en général égales et exprimées en termes d'une combinaison de résistance et condensateur en parallèle.

Courbe d'atténuation d'un filtre avec la représentation des différents termes utilisés

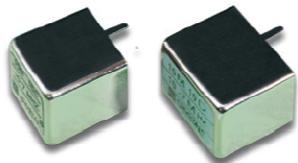


Extrait de la documentation TFC

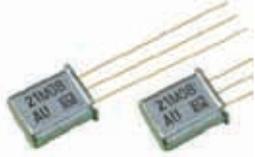
V.7.1 Le filtre à quartz de l'industrie

Exemples de filtres à quartz (extrait de la documentation TFC)

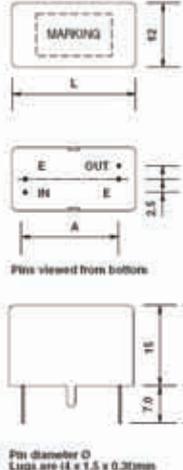
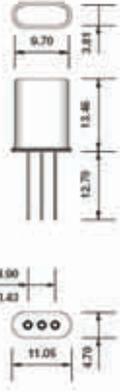
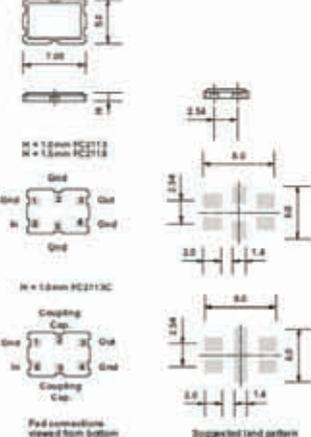
Model	Passband		Stopband			Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type	
	(dB)	\pm (kHz)	(dB)	\pm (kHz)	(dB)						\pm (kHz)
10M08C	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	M-104
10M08CM	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	UM-2 x 3
10M12C	6	6.00	45	14.0	65	20.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15C	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15CM	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	2.0	3000/1	6	UM-2 x 3
10M20C	6	10.00	45	23.0	65	30.0	2.0	3.0	3300/0.5	6	M-104
10M08D	6	3.75	65	8.75	90	12.5	2.0	4.0	1500/2	8	M-105
10M12D	6	6.00	65	14.0	90	20.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M15D	6	7.50	65	17.50	90	25.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M20D	6	10.00	65	23.0	90	30.0	2.0	4.0	3300/0.5	8	M-105



Filtres 10,70 Mhz

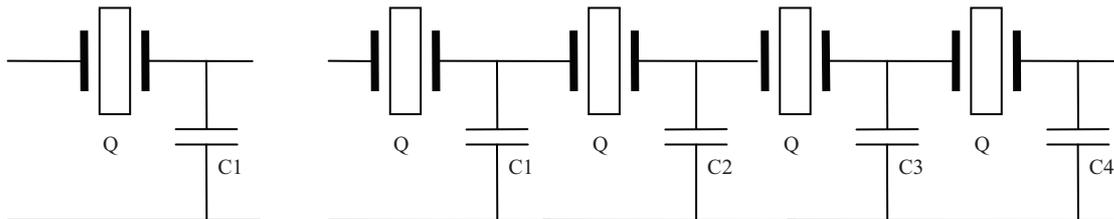
 <p>Filtres 21,40 MHz monolithique</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Passband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Stopband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21A08A</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>800/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21A08AU</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/7</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21A08B</td><td>3 3.75</td><td>40 14.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1300/2</td><td>4</td><td>HC-49U x 2</td></tr> <tr><td>21A08BU</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21A08B5</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>800/2</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21A08BU5</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21A15A</td><td>3 7.50</td><td>18 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>800/5</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21A15AU</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21A15A5</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-5</td></tr> <tr><td>21A15B</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21A15BU</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21A15BU1</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21A15B5</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21A12AU</td><td>3 6.00</td><td>20 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21A12BU</td><td>3 6.00</td><td>40 30.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21A20A</td><td>3 10.00</td><td>18 33.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>800/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21A20AU</td><td>3 10.00</td><td>18 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>2200/1</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21A20B</td><td>3 10.00</td><td>40 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1200/1</td><td>4</td><td>HC-49U x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type	21A08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	800/4	2	HC-49/U	21A08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1	21A08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49U x 2	21A08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2	21A08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	800/2	4	UM-5 x 2	21A08BU5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21A15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	800/5	2	HC-49/U	21A15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1	21A15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5	21A15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U	21A15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21A15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2	21A15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2	21A12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1	21A12BU	3 6.00	40 30.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2	21A20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	800/4	2	HC-49/U	21A20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1	21A20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49U x 2
Model	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																		
21A08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	800/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21A08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1																																																																																																																																																		
21A08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49U x 2																																																																																																																																																		
21A08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21A08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	800/2	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21A08BU5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21A15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	800/5	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21A15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21A15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5																																																																																																																																																		
21A15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U																																																																																																																																																		
21A15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21A15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21A15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21A12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21A12BU	3 6.00	40 30.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21A20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	800/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21A20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1																																																																																																																																																		
21A20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49U x 2																																																																																																																																																		
 <p>Montage en surface profil bas type 2113 2218 Fréquence 21,40MHz à 90MHz</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Stopband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Attenuation ($f=510$kHz) (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21A08AT</td><td>21.40MHz</td><td>2 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>800/5.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21A08AU</td><td>21.40MHz</td><td>2 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>800/6.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21A15AT</td><td>21.40MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21A15AU</td><td>21.40MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>22A11BT</td><td>22.05MHz</td><td>3 5.00</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>1000/2.0</td><td>4</td><td>FC2113x2</td></tr> <tr><td>22A20AT</td><td>22.05MHz</td><td>3 10.0</td><td>10 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>70</td><td>1800/1.5</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>44A11BT</td><td>44.25MHz</td><td>3 5.50</td><td>30 20.0</td><td>1.0</td><td>5.0</td><td>80</td><td>400/4.0</td><td>4</td><td>FC2116x2</td></tr> <tr><td>45A15AT</td><td>45.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>15 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>70</td><td>500/6.0</td><td>2</td><td>FC2116</td></tr> <tr><td>45A20AT</td><td>45.00MHz</td><td>3 15.0</td><td>15 30.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1200/1.8</td><td>2</td><td>FC2116</td></tr> <tr><td>77A20BT</td><td>77.05MHz</td><td>3 7.00</td><td>20 25.0</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>70</td><td>2500/1.0</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>77A13BU</td><td>73.35MHz</td><td>3 6.80</td><td>30 20.0</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>65</td><td>1700/0.8</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>90A13BU</td><td>90.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>65</td><td>1700/0.8</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation ($f=510$ kHz) (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type	21A08AT	21.40MHz	2 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	800/5.0	2	FC2113	21A08AU	21.40MHz	2 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	800/6.0	2	FC2113	21A15AT	21.40MHz	3 7.50	18 25.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	21A15AU	21.40MHz	3 7.50	18 25.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	22A11BT	22.05MHz	3 5.00	30 30.0	1.0	3.0	80	1000/2.0	4	FC2113x2	22A20AT	22.05MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	3.0	70	1800/1.5	2	FC2113	44A11BT	44.25MHz	3 5.50	30 20.0	1.0	5.0	80	400/4.0	4	FC2116x2	45A15AT	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	3.0	70	500/6.0	2	FC2116	45A20AT	45.00MHz	3 15.0	15 30.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2116	77A20BT	77.05MHz	3 7.00	20 25.0	1.0	4.0	70	2500/1.0	4	FC2113Cx1	77A13BU	73.35MHz	3 6.80	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/0.8	4	FC2113Cx1	90A13BU	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	65	1700/0.8	4	FC2113Cx1																						
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation ($f=510$ kHz) (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																
21A08AT	21.40MHz	2 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	800/5.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21A08AU	21.40MHz	2 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	800/6.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21A15AT	21.40MHz	3 7.50	18 25.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21A15AU	21.40MHz	3 7.50	18 25.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
22A11BT	22.05MHz	3 5.00	30 30.0	1.0	3.0	80	1000/2.0	4	FC2113x2																																																																																																																																																
22A20AT	22.05MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	3.0	70	1800/1.5	2	FC2113																																																																																																																																																
44A11BT	44.25MHz	3 5.50	30 20.0	1.0	5.0	80	400/4.0	4	FC2116x2																																																																																																																																																
45A15AT	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	3.0	70	500/6.0	2	FC2116																																																																																																																																																
45A20AT	45.00MHz	3 15.0	15 30.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2116																																																																																																																																																
77A20BT	77.05MHz	3 7.00	20 25.0	1.0	4.0	70	2500/1.0	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
77A13BU	73.35MHz	3 6.80	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/0.8	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
90A13BU	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	65	1700/0.8	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
 <p>Filtre 45 MHz fondamentale</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Stopband (dB) \pm(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45M08BT</td><td>45.00</td><td>3 3.75</td><td>30 12.5</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>300/7</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M10BT</td><td>45.00</td><td>3 5.0</td><td>30 18.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>300/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M12BT</td><td>45.00</td><td>3 6.0</td><td>30 12.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>300/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M13BT</td><td>45.00</td><td>3 6.5</td><td>35 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>360/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15AT</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>15 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M15BT</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>470/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15CT</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>60 25.0</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>470/3</td><td>6</td><td>M-107</td></tr> <tr><td>45M18AT</td><td>45.00</td><td>3 8.0</td><td>15 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M18BT</td><td>45.00</td><td>3 9.0</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>500/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M19BT</td><td>45.00</td><td>3 17.50</td><td>35 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>1000/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>47M20AT</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>15 35.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>600/5</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>47M20BT</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>35 35.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>500/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type	45M08BT	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	300/7	4	UM-1 x 2	45M10BT	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	300/4	4	UM-1 x 2	45M12BT	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	300/4	4	UM-1 x 2	45M13BT	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	360/4	4	UM-1 x 2	45M15AT	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M15BT	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2	45M15CT	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107	45M18AT	45.00	3 8.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M18BT	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2	45M19BT	45.00	3 17.50	35 30.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2	47M20AT	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	600/5	2	UM-1	47M20BT	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	500/2	4	UM-1 x 2																																			
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) \pm (kHz)	Stopband (dB) \pm (kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω /pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																	
45M08BT	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	300/7	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M10BT	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	300/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M12BT	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	300/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M13BT	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	360/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15AT	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M15BT	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15CT	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107																																																																																																																																																	
45M18AT	45.00	3 8.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M18BT	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M19BT	45.00	3 17.50	35 30.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
47M20AT	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	600/5	2	UM-1																																																																																																																																																	
47M20BT	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	500/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	

Exemples de boitiers

 <p>Pin diameter ϕ Lugs are 1.5×0.30mm</p>			 <p>Suggested lead pattern</p>													
<p>Boitiers M-104 et M-105</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Enclosure</th> <th>L</th> <th>A</th> <th>ϕ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M-104</td> <td>15.0</td> <td>9.00</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>M-105</td> <td>18.50</td> <td>13.4</td> <td>0.43</td> </tr> </tbody> </table>	Enclosure	L	A	ϕ	M-104	15.0	9.00	0.43	M-105	18.50	13.4	0.43	<p>HC49/U</p>	<p>UM/2</p>		
Enclosure	L	A	ϕ													
M-104	15.0	9.00	0.43													
M-105	18.50	13.4	0.43													

V.7.2 Le filtre à quartz à éléments discrets

Le concepteur « amateur » peut se constituer un filtre à quartz en éléments discrets en considérant la bande passante à obtenir, la raideur des flancs et la fréquence centrale. La bande passante va permettre de déterminer approximativement le nombre de cellules (ou de pôles) à mettre en série 2, 4, 6 ou 8 pôles (voir le schéma ci-dessous). Le concepteur commence par approvisionner un nombre de quartzs supérieur à celui nécessaire (nombre de pôles). Il va ensuite tester les quartzs et noter leur fréquence. Il sélectionne ensuite les quartzs dont la fréquence est très proche. Le calcul des différents éléments peuvent se trouver sur le Net.



Filtre à quartz à 1 cellule

Filtre à quartz à 4 cellules

L'ondulation dans la bande passante est due aux différents pôles et à leurs couplages.

Remarques sur les filtres à quartz de réalisation amateur et industriel (en général) :

Si on augmente le nombre de cellules (pôles) :

- le facteur de forme s'améliore,
- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- les flancs sont plus raides.

Si la fréquence individuelle des quartzs sélectionnés diffère :

- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- l'atténuation hors de la bande passante diminue.