

LE QUARTZ

1. Caractéristiques générales

d'après AN200-2 / HP (Fundamentals of quartz oscillators)

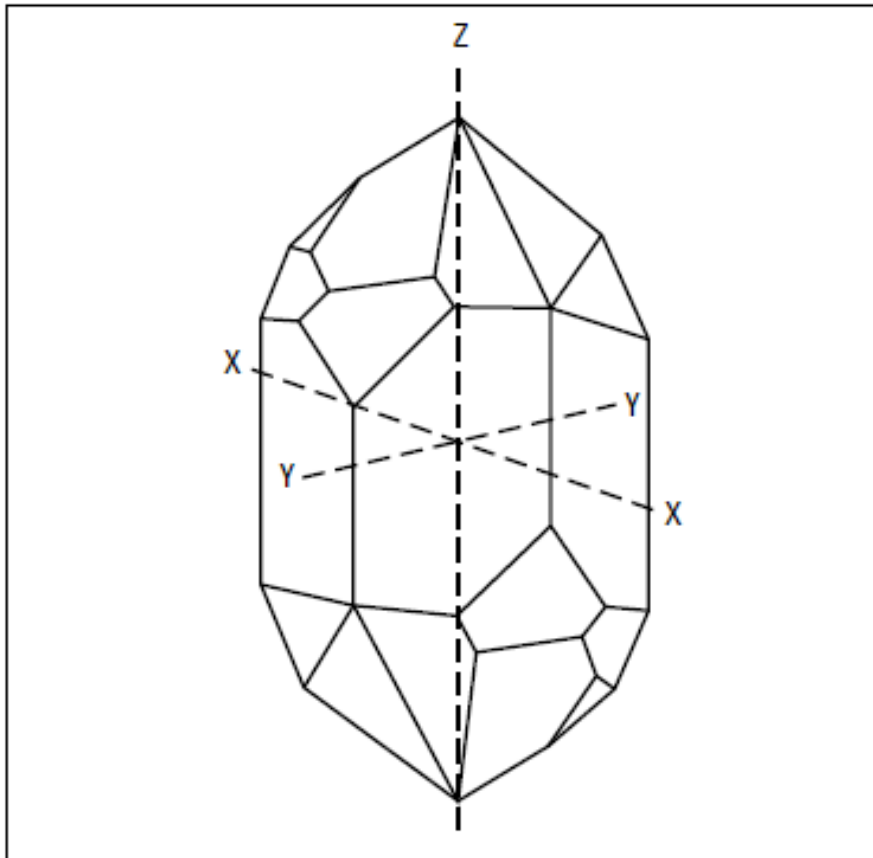


Figure 4. Doubly terminated quartz crystal showing axis orientation.

- **structure cristalline SiO_2**
- **3 axes caractéristiques :**
 - Z : isotropie optique
 - X : électrique
 - Y : mécanique
- **effet piezoélectrique :**
 - contrainte méca. selon Y \Leftrightarrow dipôle électrique selon X

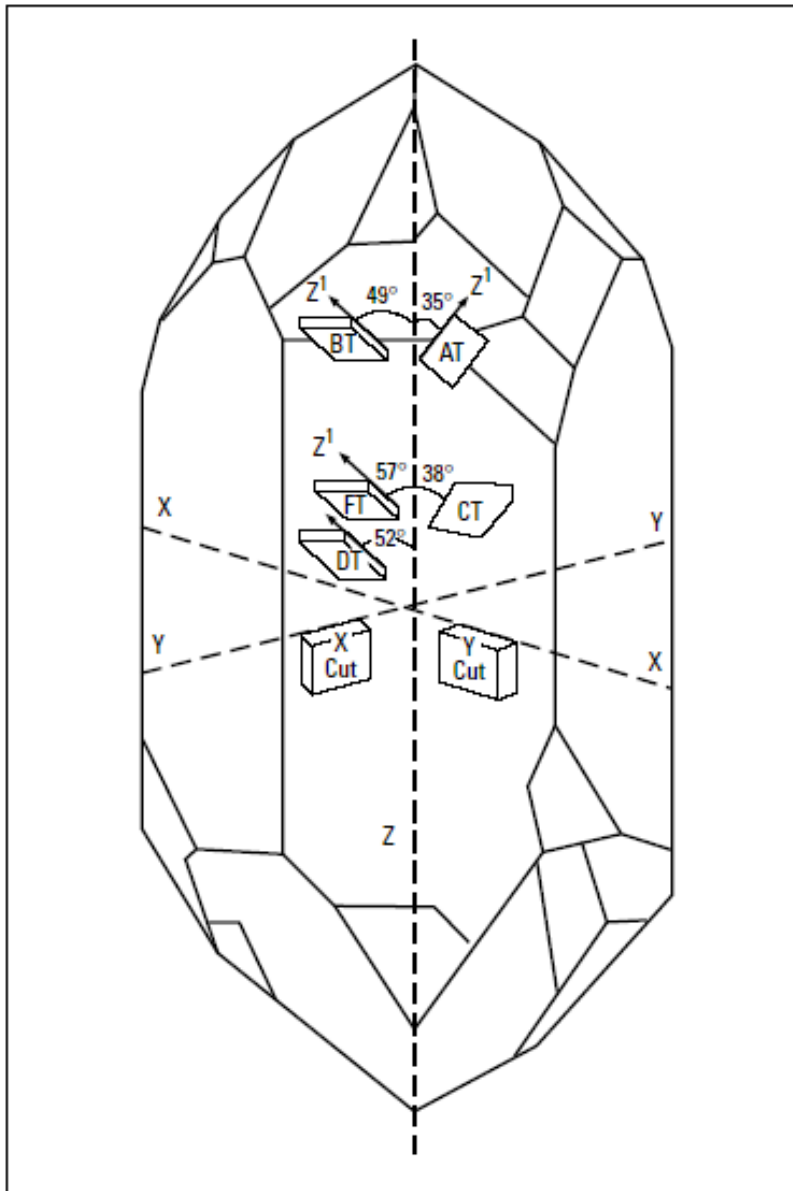


Figure 6. Typical crystal cuts from a doubly terminated quartz crystal.

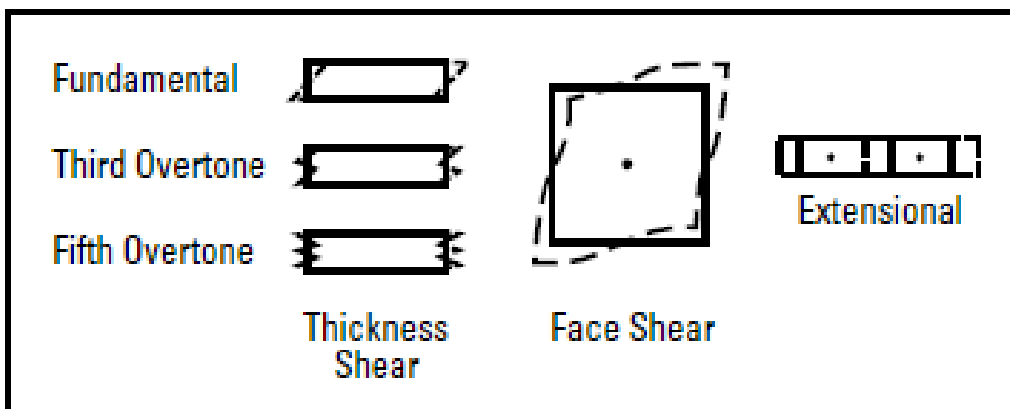


Figure 7. Vibration modes of various crystal cuts and the thickness shear overtone.

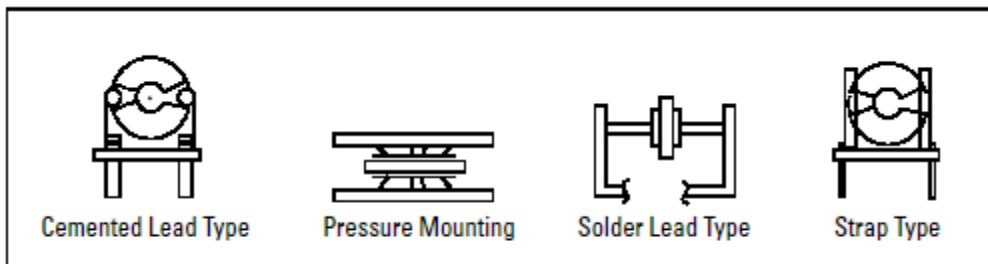


Figure 8. Methods of mounting crystals depending upon cut and application.

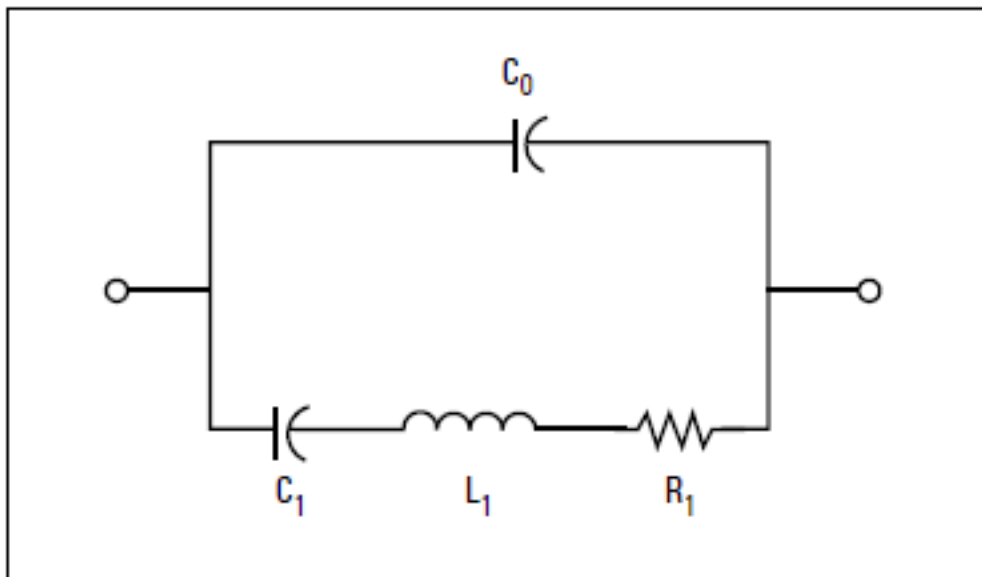


Figure 9. The electrical equivalent circuit for a crystal resonator.

L_1, C_1 : paramètres dynamiques (élasticité, propriétés mécaniques)

R_1 : résistance dynamique (amortissement, pertes Joules)

C_0 : capacité statique (électrodes, boîtier)

NB : seule C_0 correspond à une grandeur électrique effective

Impédance du quartz : $\underline{Z} = R + j.X$

Ces 3 grandeurs sont fonction de f

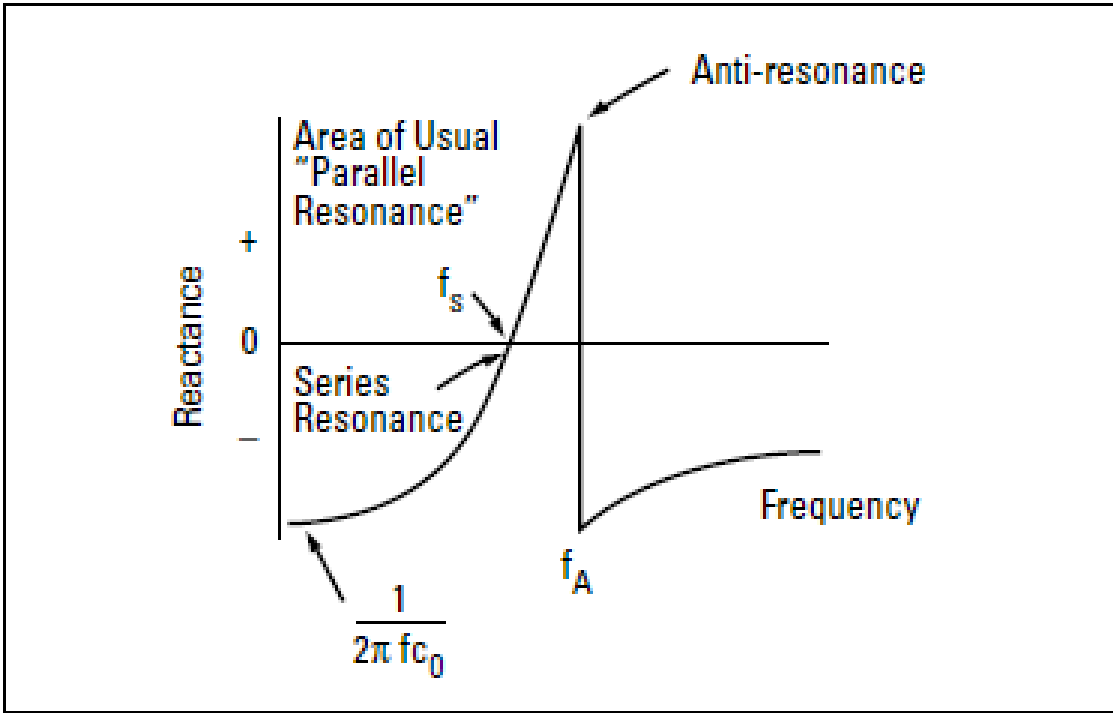


Figure 10. The reactance of the crystal varies with the frequency of operation near resonance.

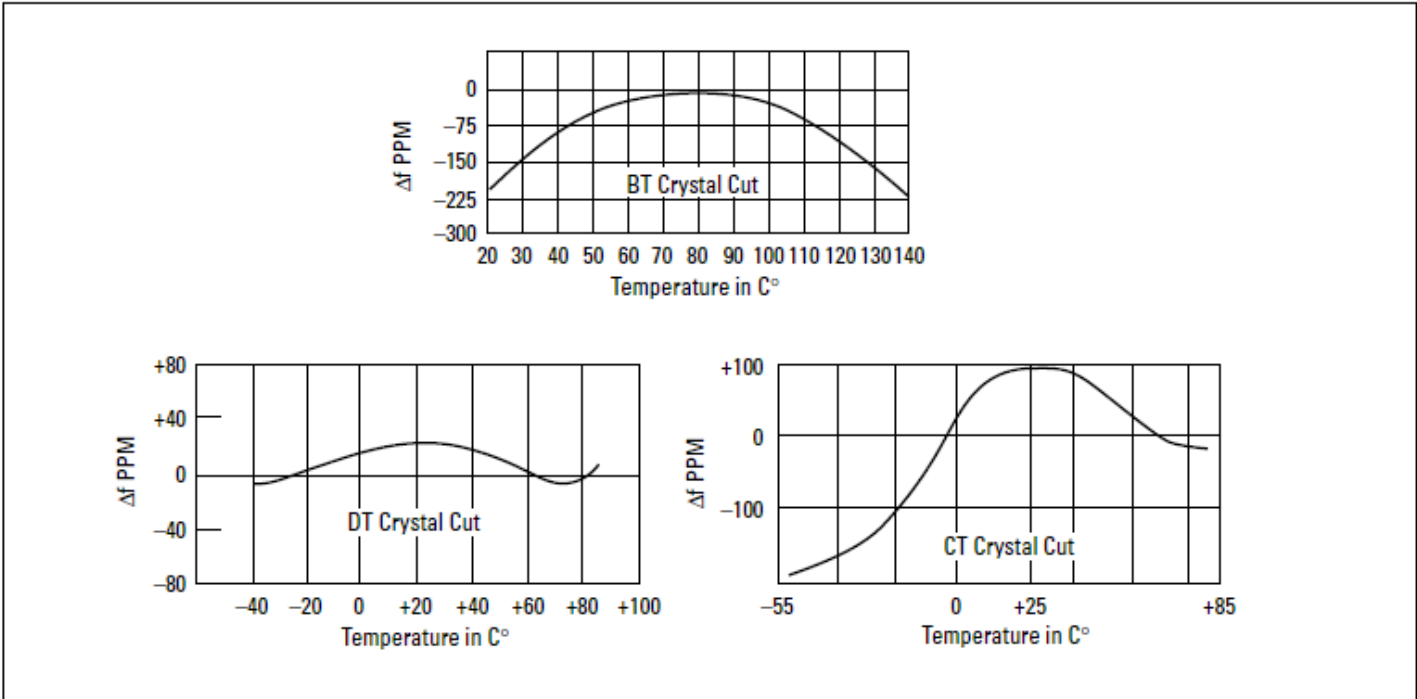


Figure 13. Frequency vs. temperature plots for DT, BT, and CT cuts.

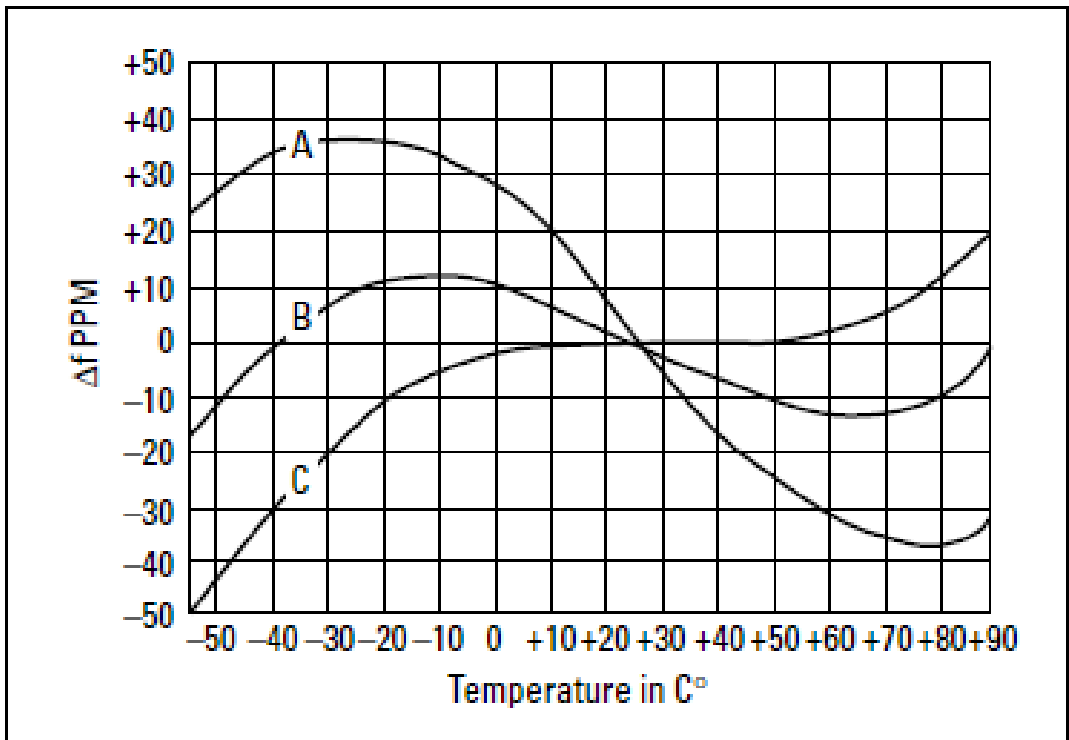


Figure 14.
A, B, and C are temperature vs. frequency plots of AT cuts which have been varied by a few seconds of angle rotation.

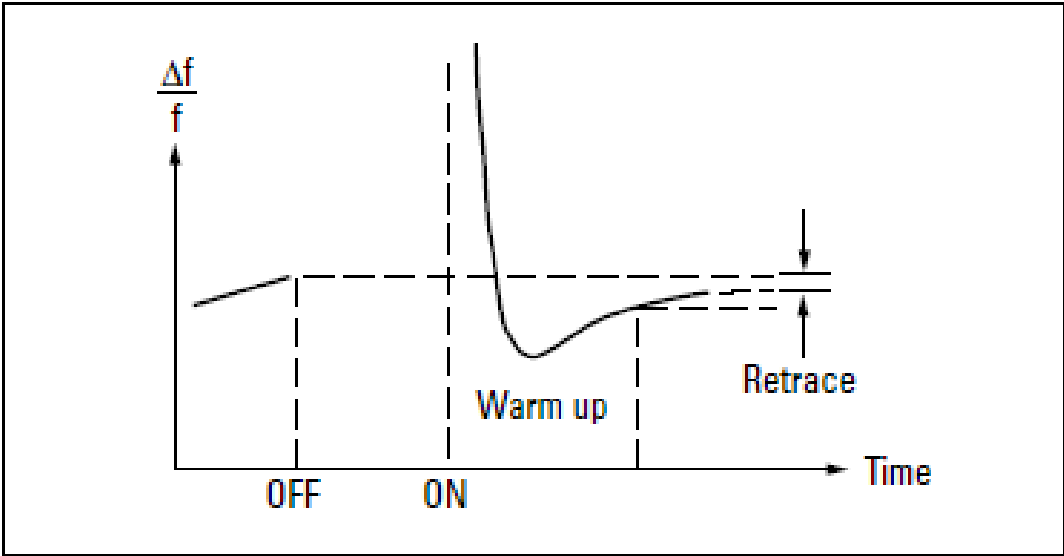


Figure 26. Graphic presentation of warm up and retrace.

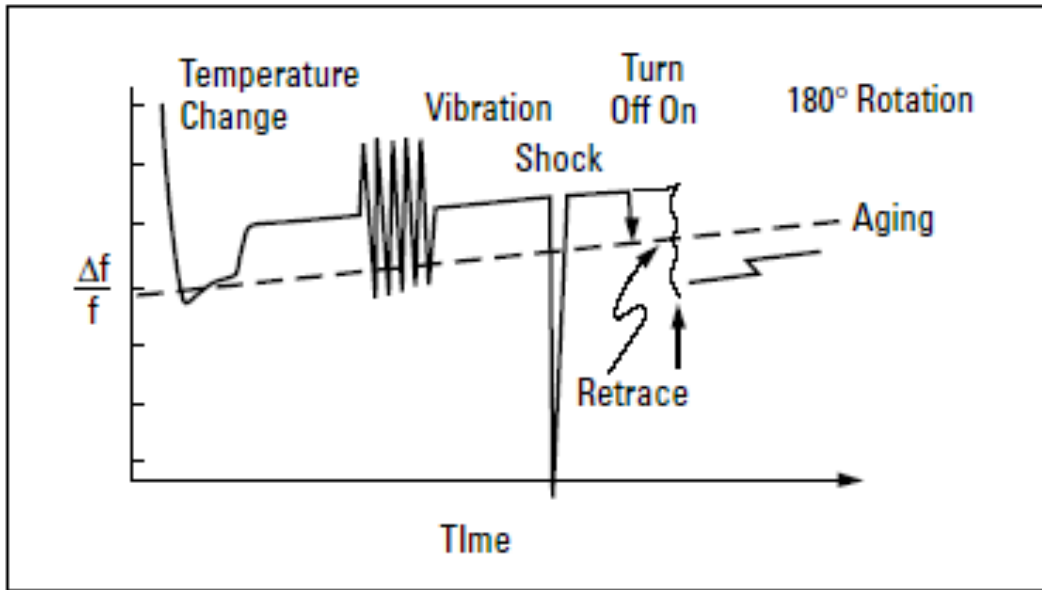


Figure 19. Graphic representation of environmental conditions.

	Room Temperature	TCX0	High Stability Oven
Aging Rate	$<3 \times 10^{-7}/\text{mo.}$	$<1 \times 10^{-7}/\text{mo.}$	$<1.5 \times 10^{-8}/\text{mo.}$ usually specified $<5 \times 10^{-10}/\text{day}$
Short-Term (1 s average)	$<2 \times 10^{-9}$ rms	$<1 \times 10^{-9}$ rms	$<1 \times 10^{-11}$ rms
Temperature 0°C — 50°C	$<2.5 \times 10^{-6}$	$<5 \times 10^{-7}$	$<7 \times 10^{-9}$
Line Voltage 10% Change	$<1 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-8}$	$<1 \times 10^{-10}$
Warm up	—	—	20 Minutes (5×10^{-9})

Figure 27. Comparison Chart

2. Point de fonctionnement

- Mode série

$$f = f_r \text{ donc } X = 0$$

=> quartz = résistance faible valeur ($R_r \approx R_1$)

- Mode parallèle

$$f \neq f_r \text{ donc } X \neq 0$$

=> quartz = réactance inductive (éventuellement capacitive)

En général f est proche de f_r et inférieur à f_a

- Le point de fonctionnement est fixé par la réactance de charge du quartz X_L (vue de ses bornes)

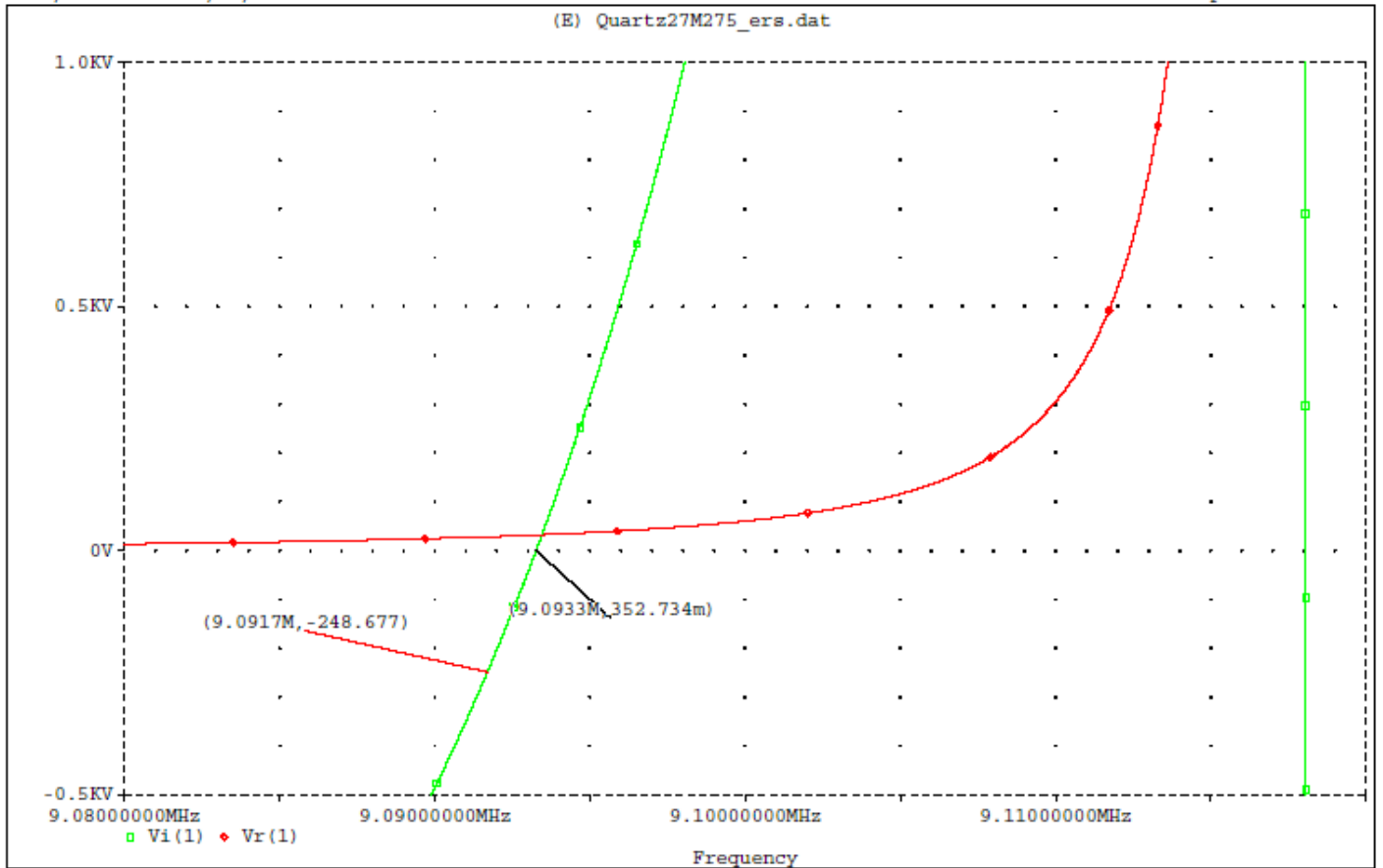
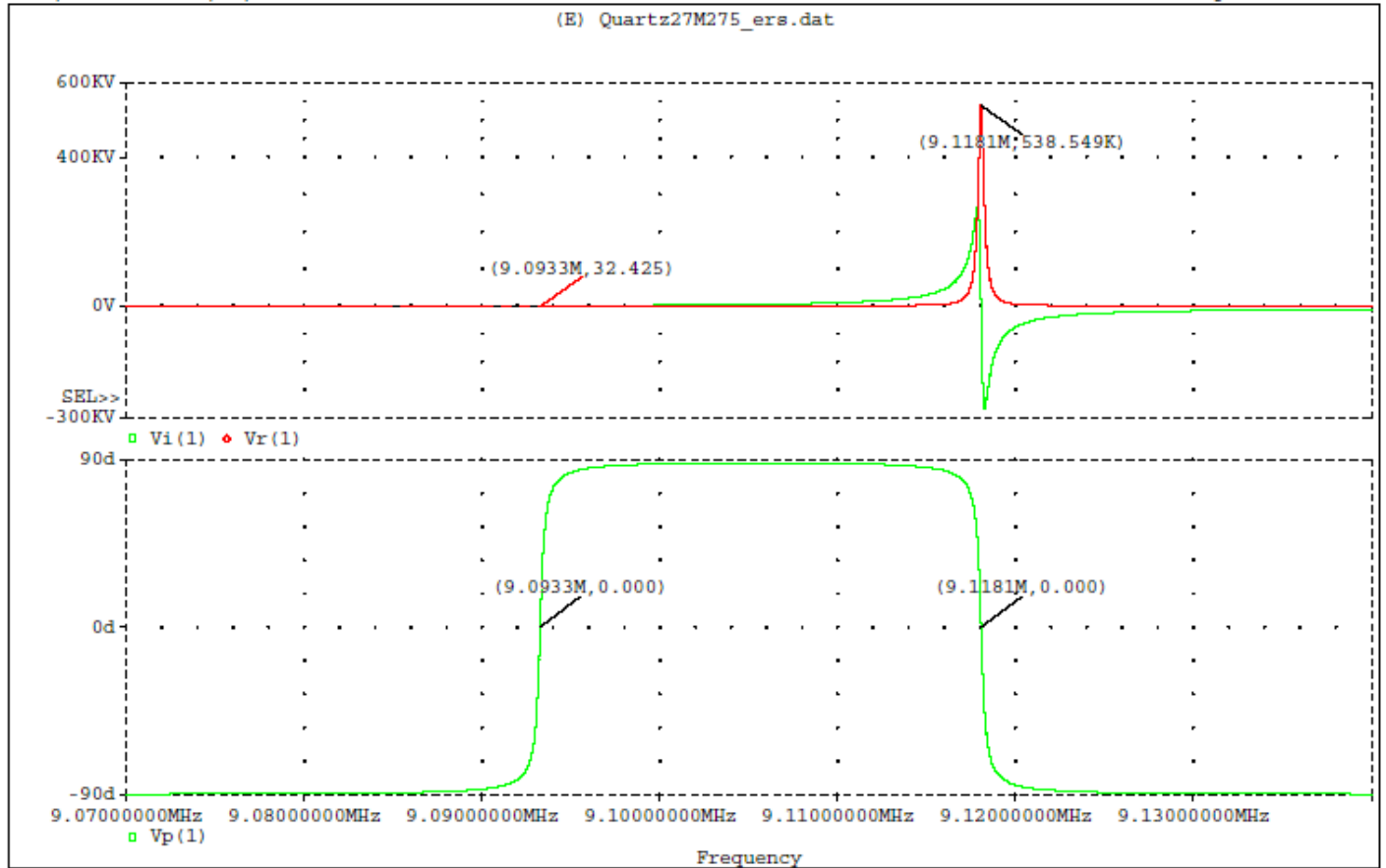
F est telle que $X = -X_L$

- Relations utiles :

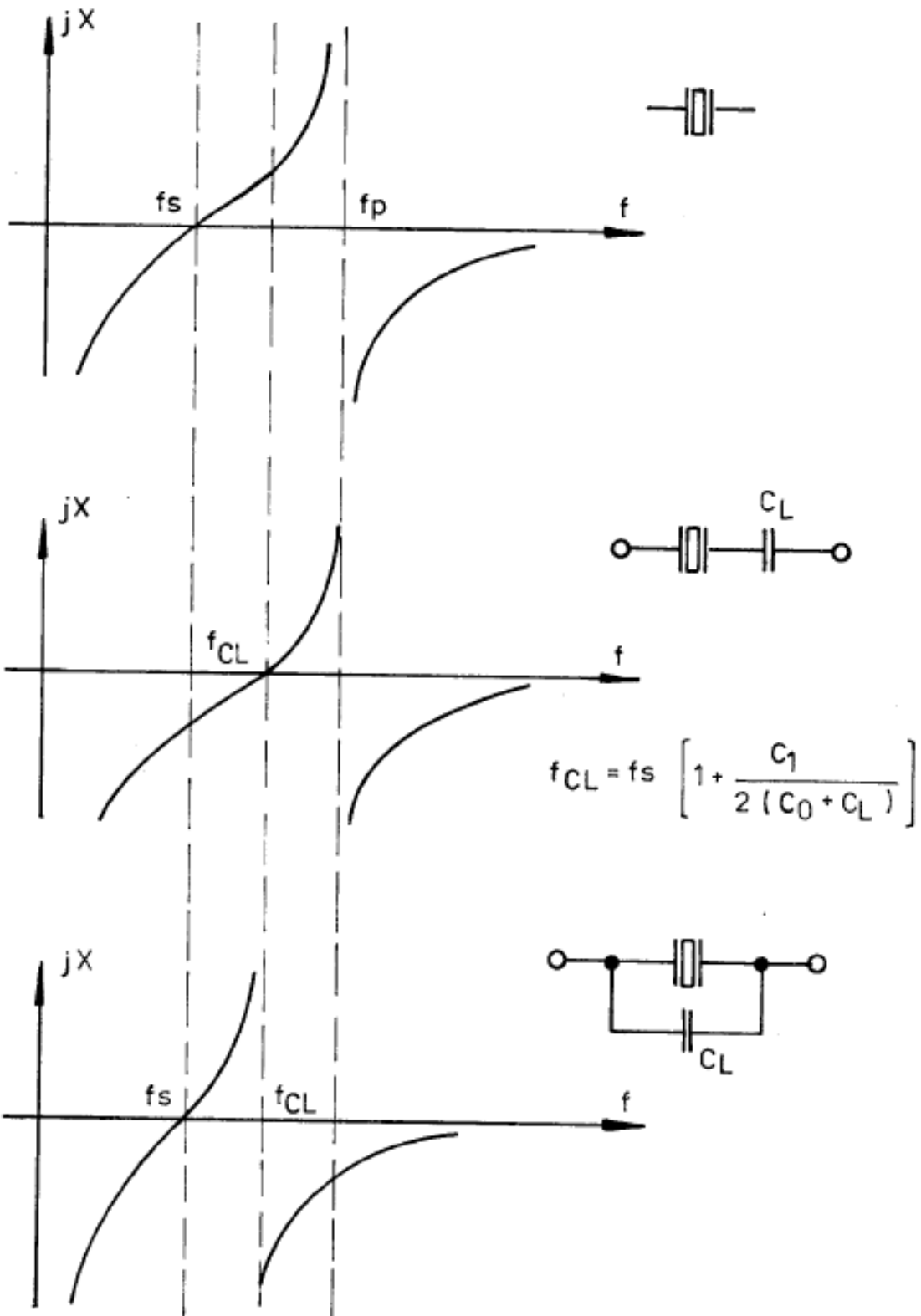
$$F_r \approx F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1.C_1}}$$

$$F_a \approx F_r \cdot \left(1 + \frac{C_1}{2.C_0}\right)$$

$$Q = \frac{1}{2\pi.F_s.C_1.R_1}$$



- Impédance équivalente (association X-tal / C_L)



3. Mesures selon IEC 444

Propriétés

- méthode passive
- le quartz est inséré dans un quadripôle standardisé
- isolé de l'extérieur (2 x 14,8 dB)
- voit une charge résistive (2 x 12,5 Ω)

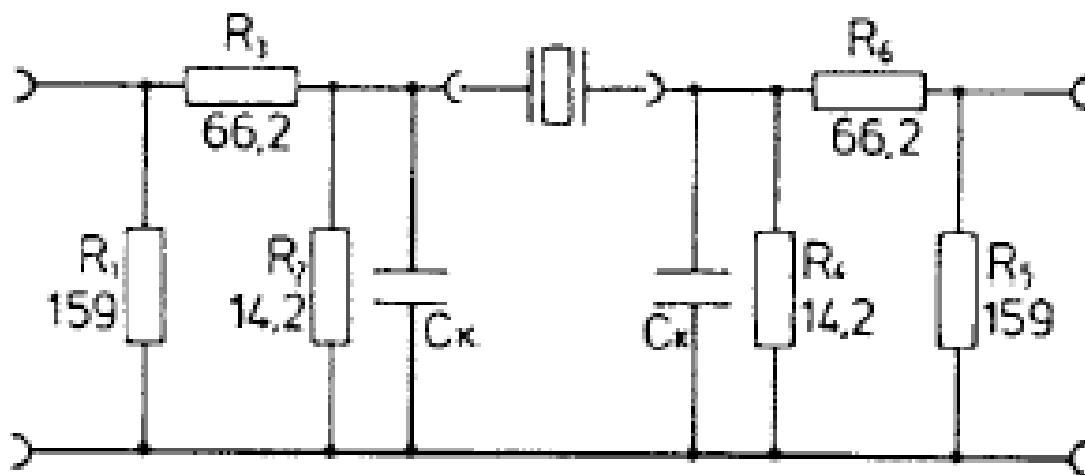


Bild 4.1: Doppel- π -Netzwerk nach (DIN) IEC 444-1

- support standardisé (plan de réf. spécifié par rapport au boîtier)
- valable jusqu'à 125 MHz ; extension possible si compensations (C_0 , dispositif de mesure, ..)

NB : $R_T = 25 \Omega$ convient à R_1 des coupes AT de 1..200 MHz pour R_1 élevée (X-tal 32 kHz), augmenter R_T pour limiter I_{Loss}

Procédure

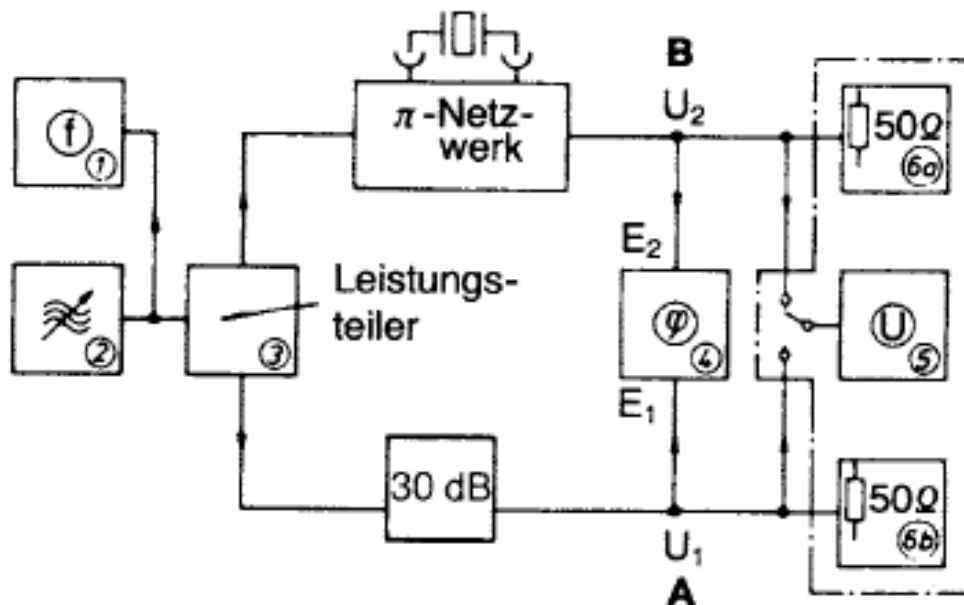


Bild 4.4: Meßanordnung für die Quarzmessung nach (DIN) IEC 444

Avec le voltmètre vectoriel

1 – mesurer U_{BK} avec un strap en place du quartz

2 – placer le quartz

pour $\varphi = 0 \Leftrightarrow f = f_r \approx f_s$ on obtient $R_r \approx R_1$

3 – mesurer f_{+40} et f_{-40} telles que $\Delta\varphi = \pm 40^\circ$

on en déduit L_1 et C_1

4 – à f loin des résonances mesurer C_0

- au pont (1 MHz)
- ou dans le dispositif ci-dessus (réactance X_{co})

Formules

$$\frac{f_r - f_s}{f_s} = \frac{1}{2Q} \arctan (R_1 \omega C_0) \quad (\text{environ } 0,5 \text{ ppm pour } 1 \text{ partie } 5)$$

$$Rr = 25 \left(\frac{U_{BK} - 1}{U_B} \right)$$

$$C_1 = \frac{\Delta f_{\pm\phi}}{2\pi f_r^2 R_{\text{eff}} \tan \phi}$$

$$R_{\text{eff}} = R_r + R_T = R_r + 25 \Omega$$


$$L_1 = \frac{1}{\omega_s^2 C_1} = \frac{R_{\text{eff}}}{2\pi \Delta f_{\pm\phi}} \tan \phi$$

$$Q = \frac{\omega L_1}{R_1} = \frac{1}{\omega_r C_1 R_r}$$

$$X_{Cp} = 25\Omega \left(\frac{U_{BK}}{U_{BC0}} - 1 \right) \quad \text{d'où } C_0 = (1 / 2\pi f X_{Cp}) - C_c$$

(C_c capa résiduelle du support)

Feuille de calcul Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	Bordures	
1	Caractérisation d'un quartz (Denis Heitz - F6DCD) - v2.0 mai 07								Comportement en fréquence					
2									f = 9,09170 MHz					
3	Matériel : HP8405A + géné. synthétisé + att. (selon IEC444) + HP4271A								<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Les valeurs en rouge sont modifiables Ajuster f avec le curseur </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>					
4	1 - mettre le strap et régler les références 0° et atténuation													
5	2 - insérer le XTAL et mesurer pour													
6	Réf. : ers 27,275MHz													
7	att = 7,2 dB													
8	phi = 0°	fr =	9,093260 MHz											
9	phi = + 40°	f+40 =	9,093000 MHz											
10	phi = - 40°	f-40 =	9,093570 MHz											
11	3 - mesurer Co													
12	Co = 4,18 pF													
13									Résistance série = 48,1 ohms					
14									Réactance série = -258,1 ohms					
15	Résultats								Inductance de charge = 4,5 uH					
16	L1 = 1,341834E+01 mH								ou C = 103,0 pF en série avec 7,5 uH					
17	C1 = 2,282981E-02 pF								XC = 170,0 ohms					
18	R1 = 32,3 ohms								ou L = 10,3 uH en série avec 53,0 pF					
19	Q1 = 23756								XL = 588,4 ohms					
20	fr = 9,09326 MHz													
21	fa = 9,11809 MHz													
22														
23														
24	ATTENTION													
25	Cette feuille utilise les nombres complexes. Il est nécessaire d'installer l' "Utilitaire d'analyse" pour une exécution complète des calculs (résultats cohérents dans le cadre bleu).													
26	Pour cela, taper "complexe" dans l'aide Excel ; on y trouvera les instructions :													
27	" Si cette fonction n'est pas disponible, exécutez le programme d'installation pour installer la macro complémentaire Utilitaire d'analyse, puis activez cette dernière à l'aide de la commande Macros complémentaires du menu Outils... "													
28														
29														
30	Denis HEITZ, F6DCD - Xtal_caracterisation_f6dcd.xls - v2.0 - mai 2007													
31	Ce classeur (Xtal_caracterisation_f6dcd.xls) peut être distribué librement à condition qu'il soit non payant et non modifié.													
32	Pour tout commentaires (erreur, amélioration...) ou question, s'adresser à f6dcd@orange.fr													
33														
	Analyse \ Caractérisation \ Banc de mesure IEC444													