

LE QUARTZ

1. Caractéristiques générales

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

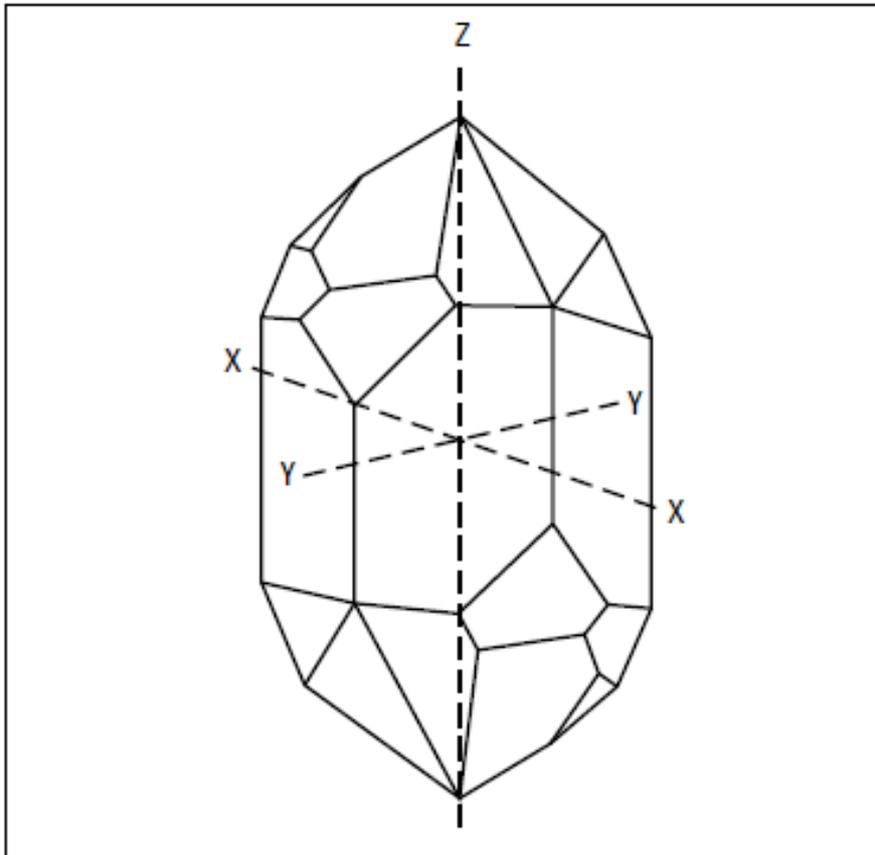


Figure 4. Doubly terminated quartz crystal showing axis orientation.

- **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

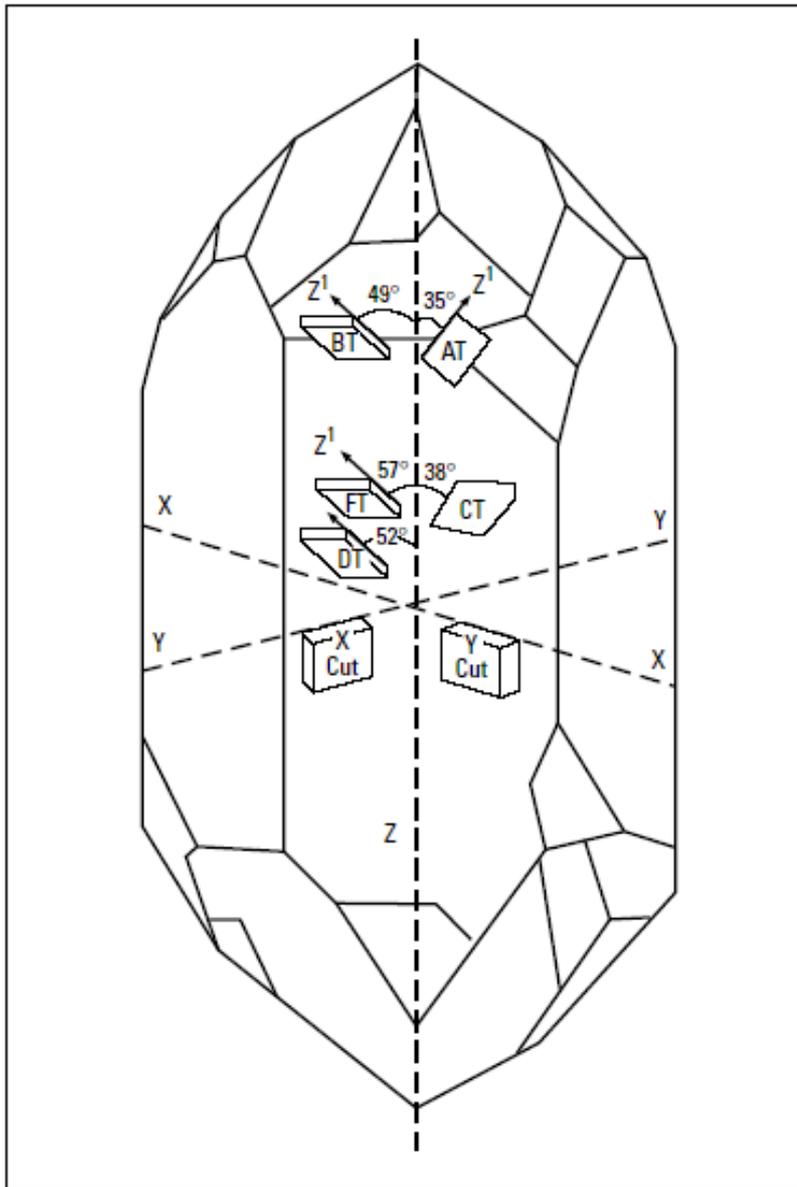


Figure 6. Typical crystal cuts from a doubly terminated quartz crystal.

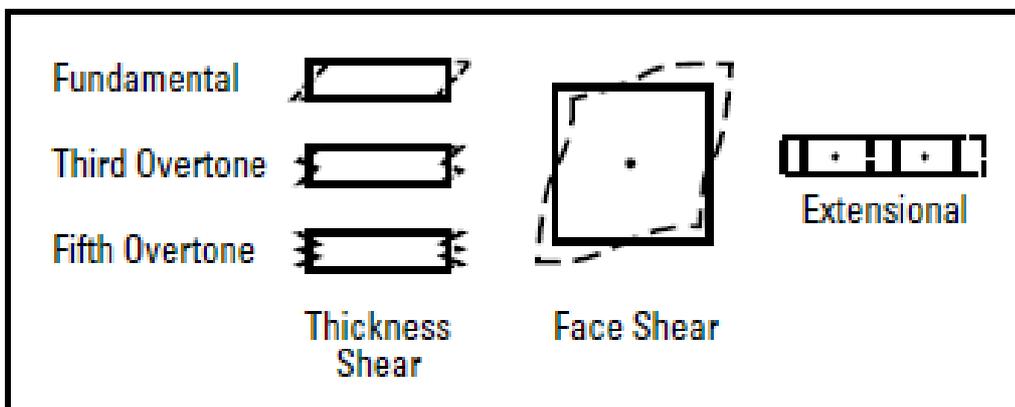


Figure 7. Vibration modes of various crystal cuts and the thickness shear overtone.

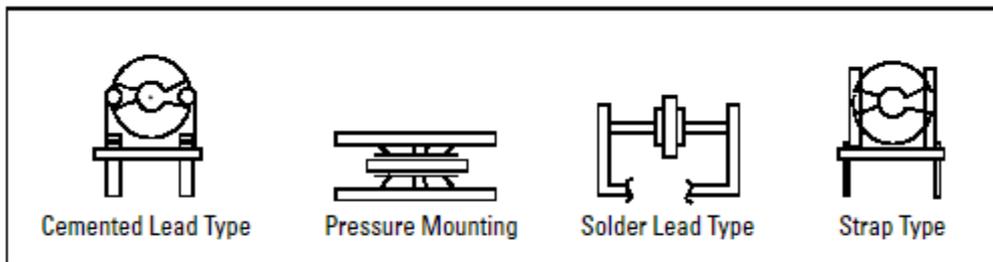


Figure 8. Methods of mounting crystals depending upon cut and application.

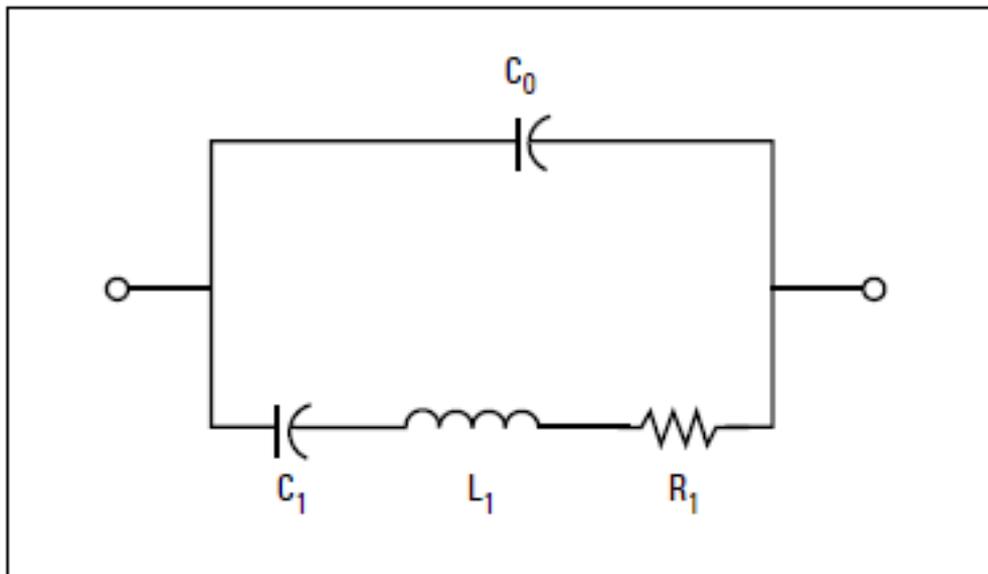


Figure 9. The electrical equivalent circuit for a crystal resonator.

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

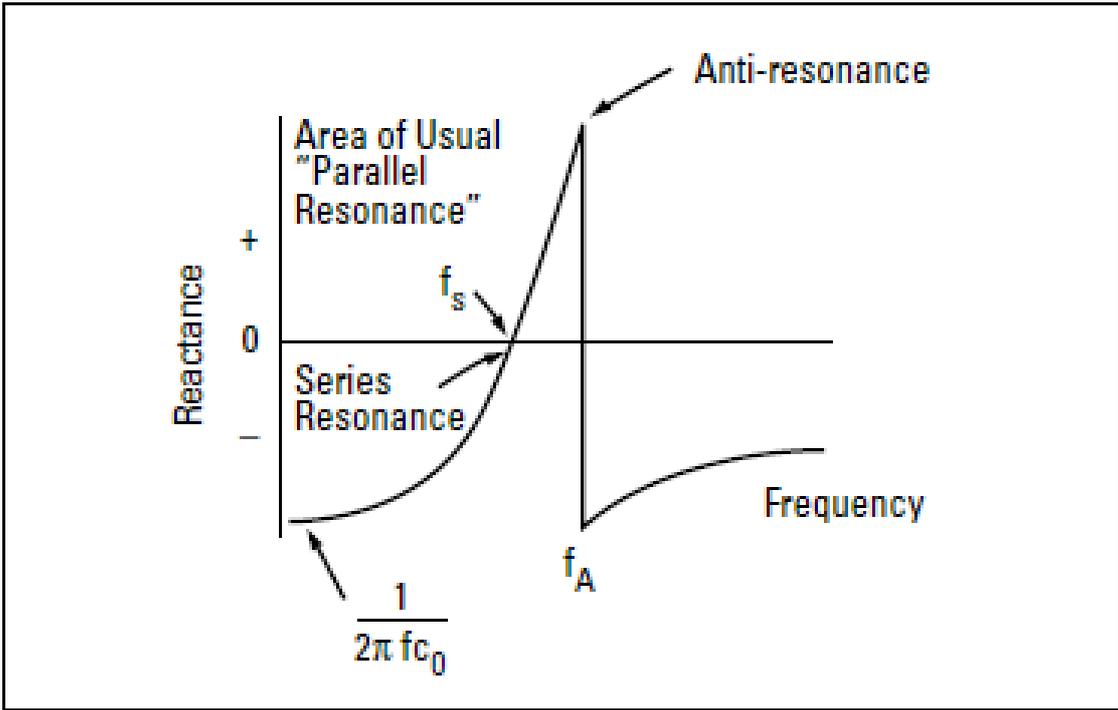


Figure 10. The reactance of the crystal varies with the frequency of operation near resonance.

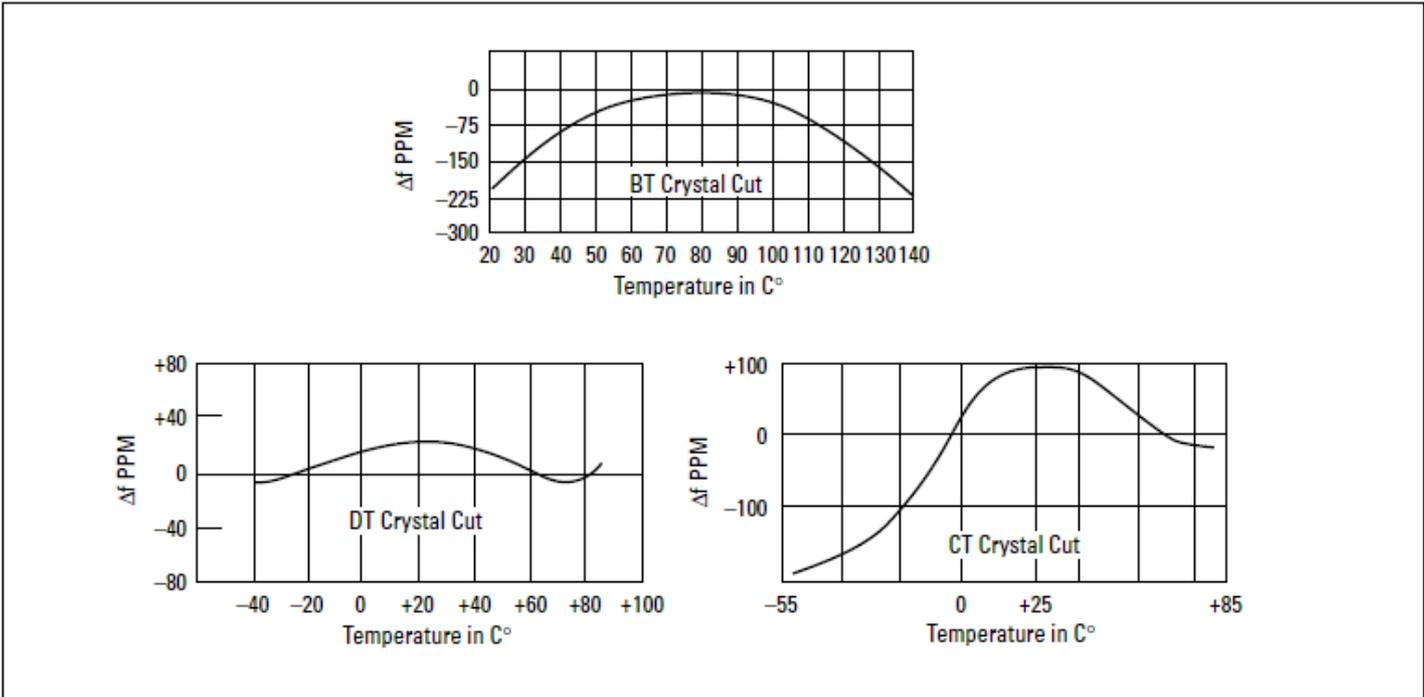


Figure 13. Frequency vs. temperature plots for DT, BT, and CT cuts.

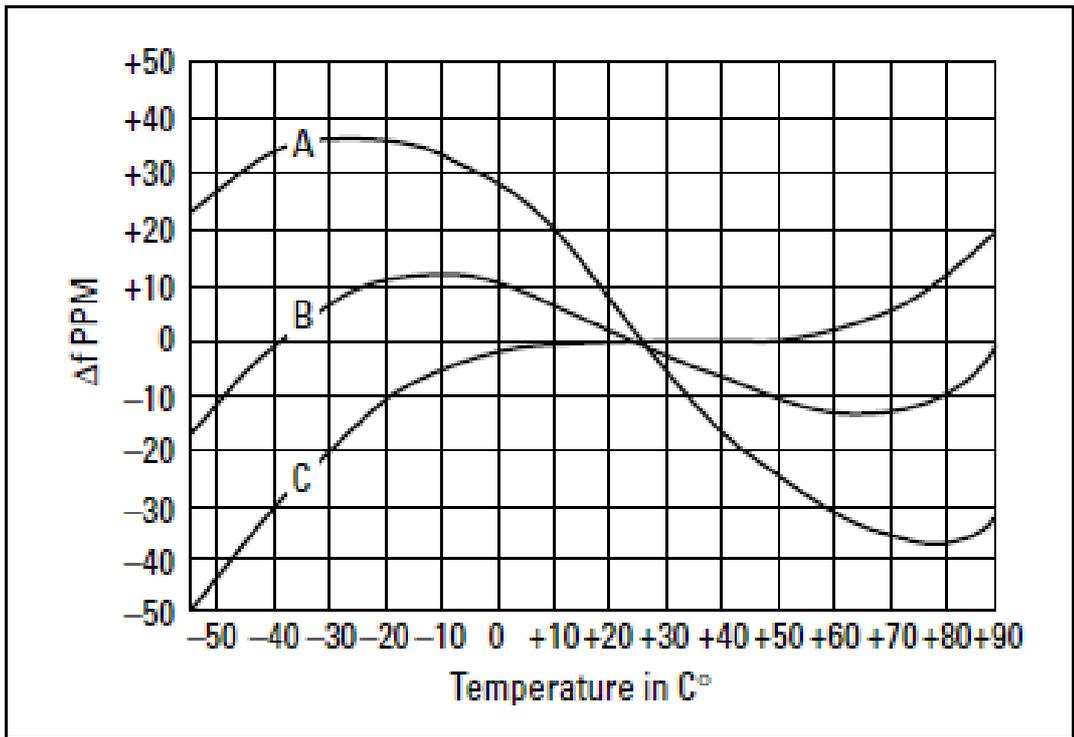


Figure 14.
A, B, and C are temperature vs. frequency plots of AT cuts which have been varied by a few seconds of angle rotation.

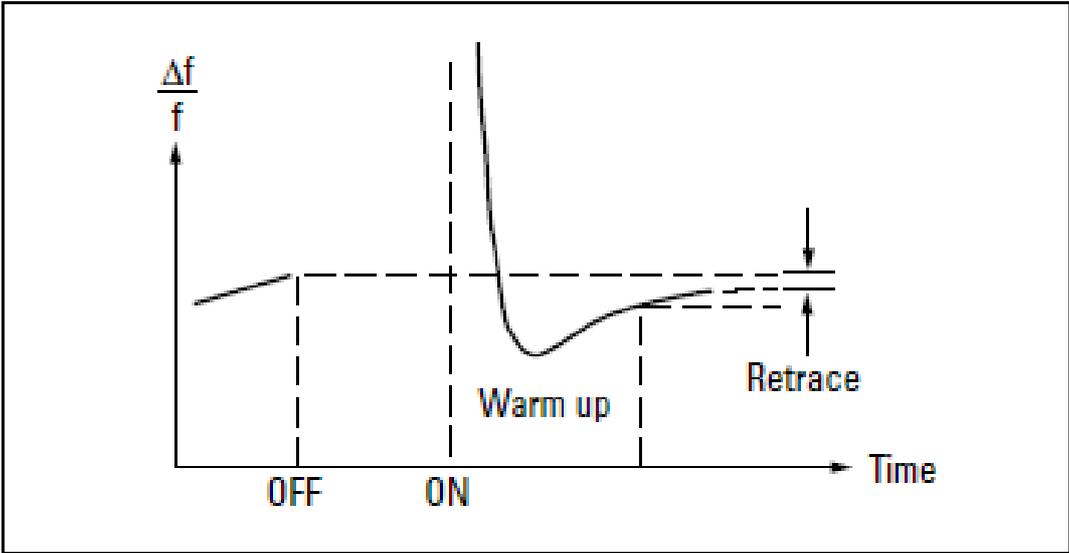


Figure 26. Graphic presentation of warm up and retrace.

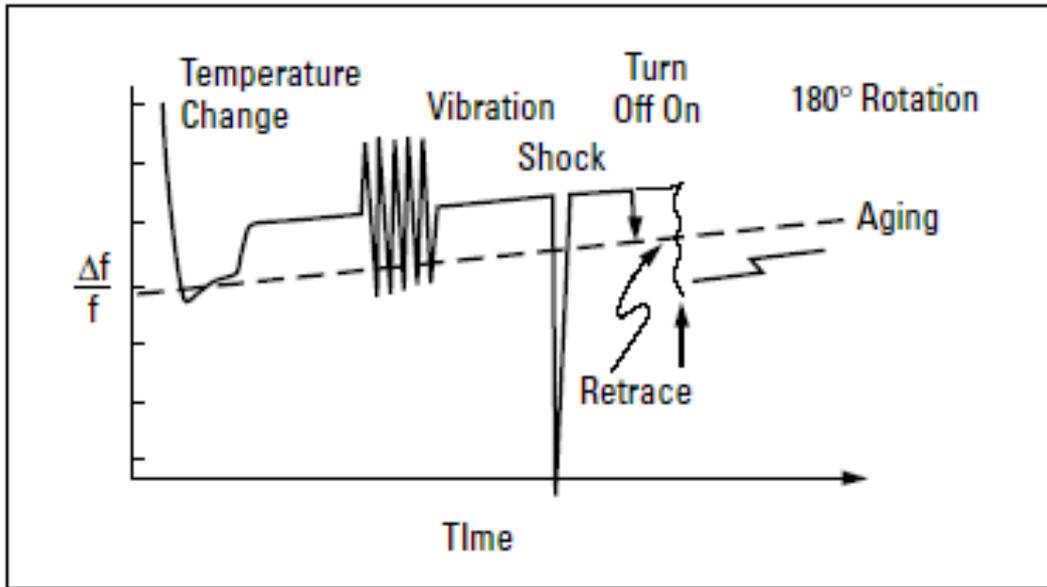


Figure 19. Graphic representation of environmental conditions.

	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)

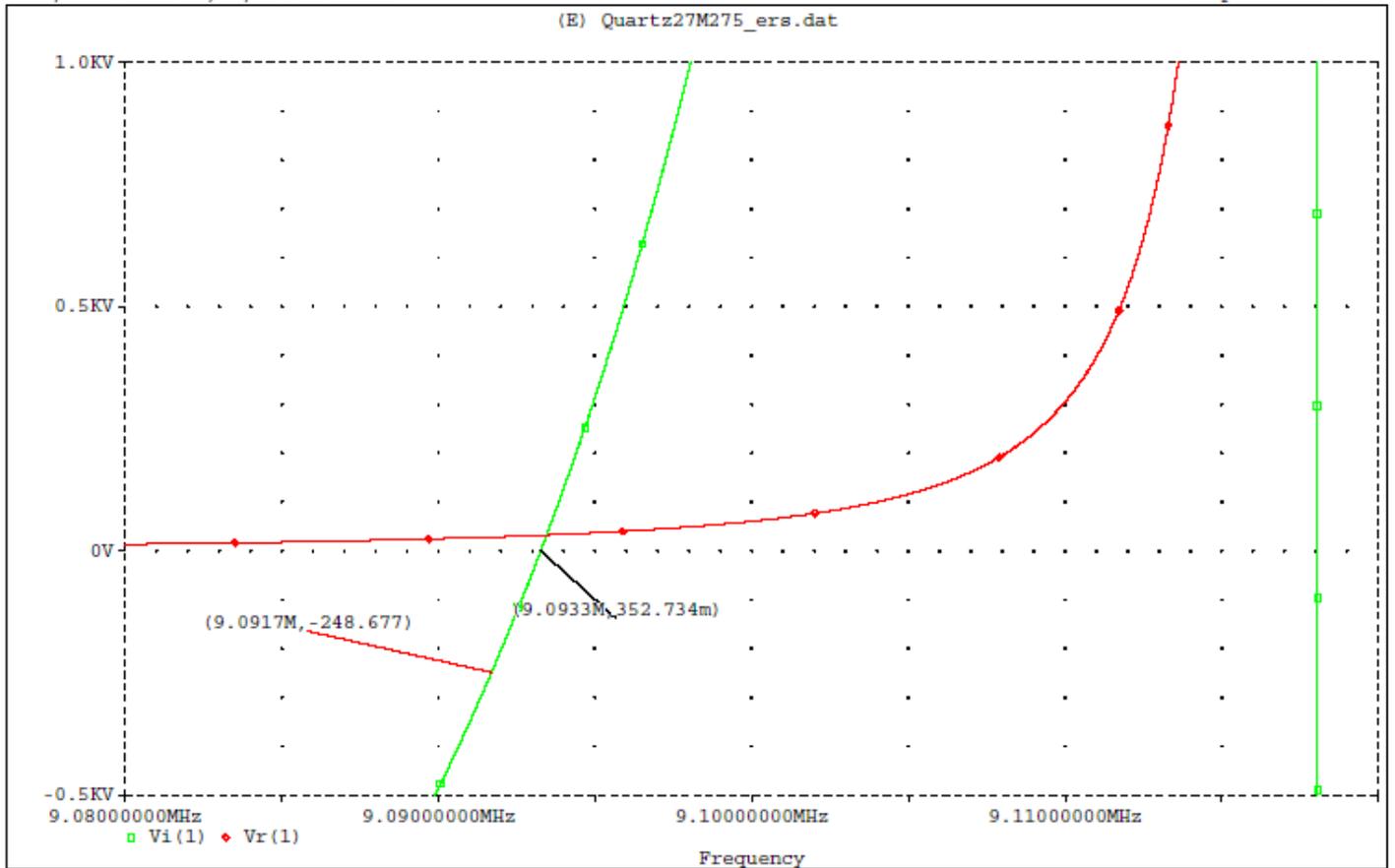
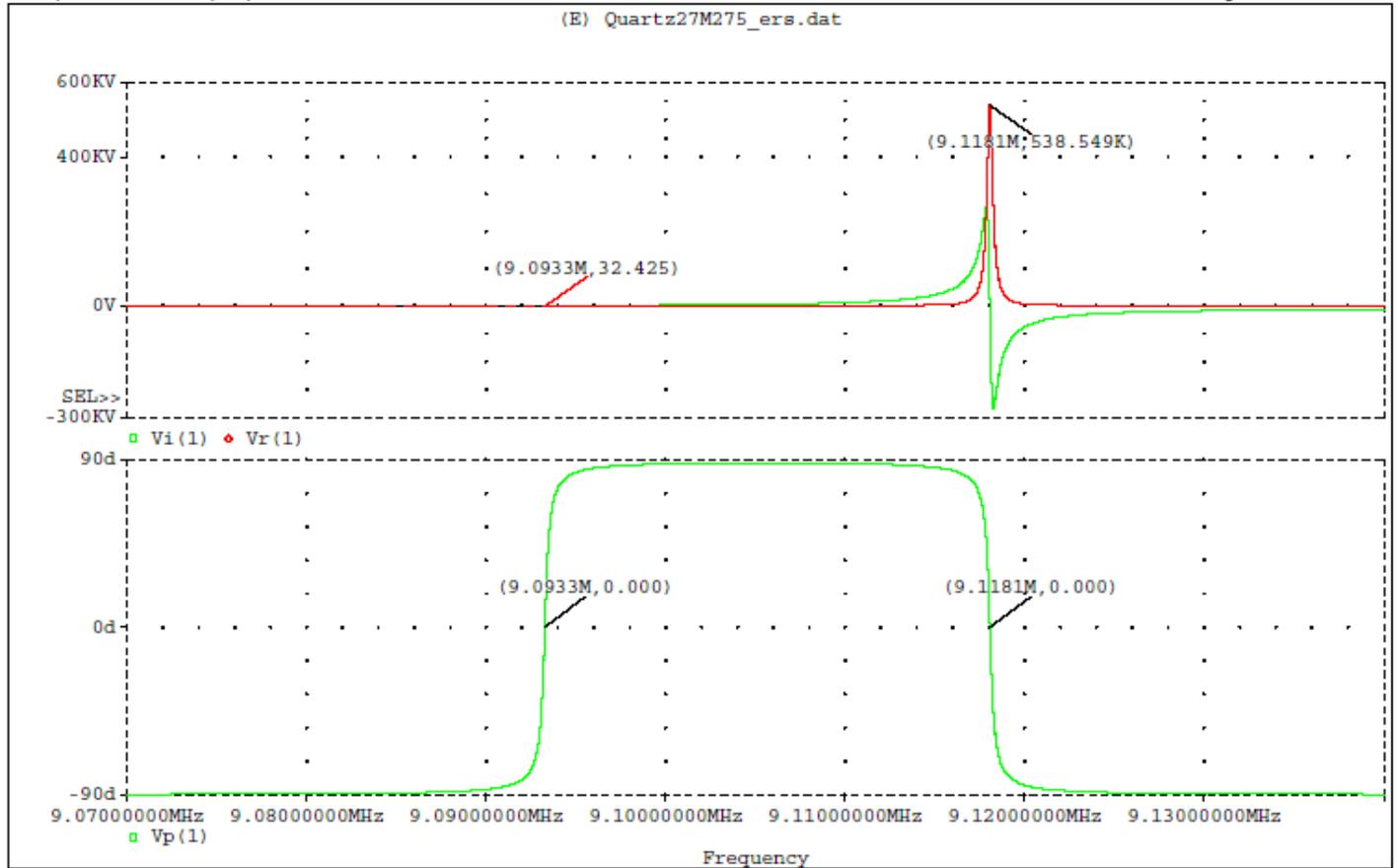
F est telle que $X = -X_L$

- Relations utiles :

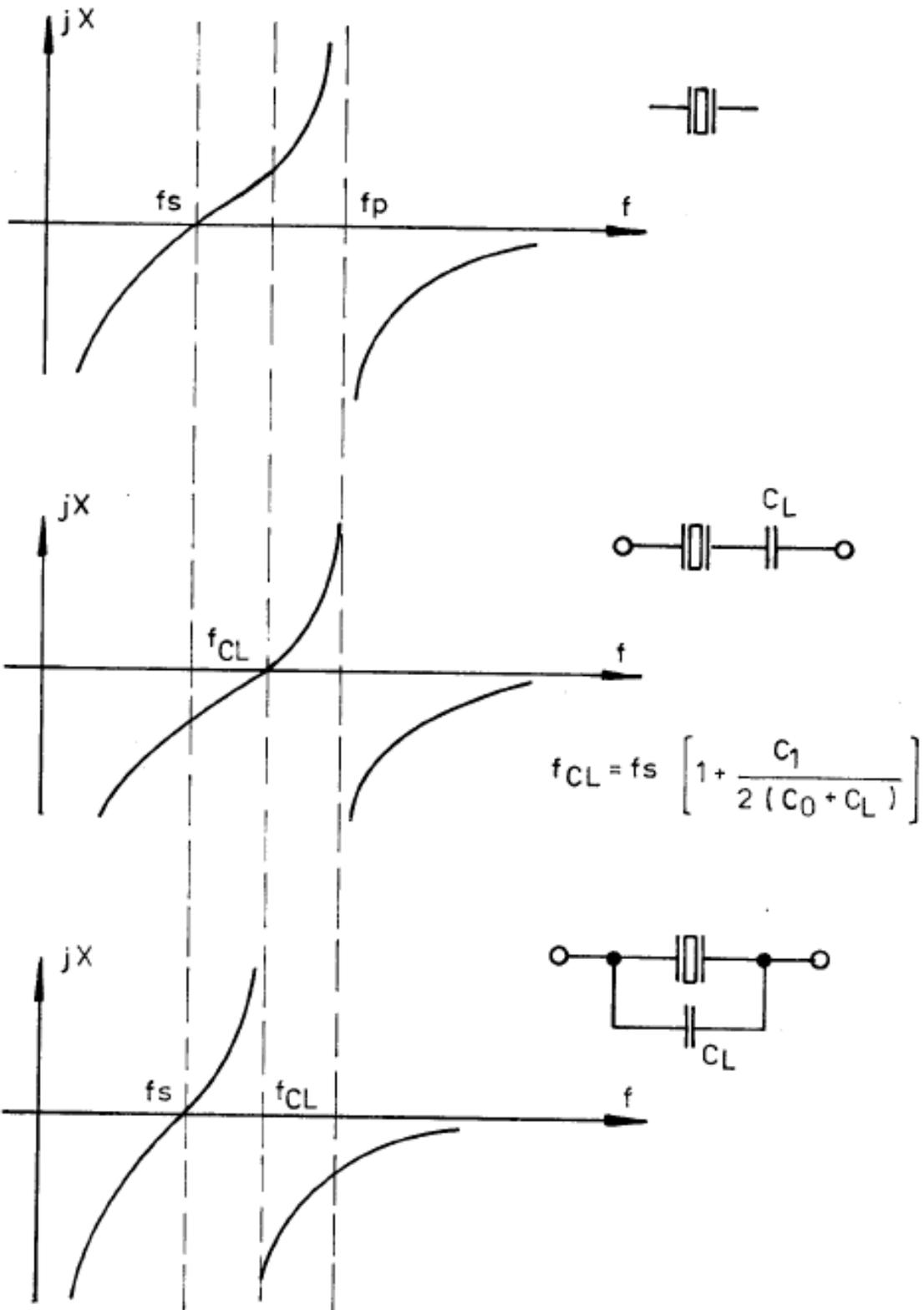
$$F_r \approx F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1.C_1}}$$

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

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



- 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)

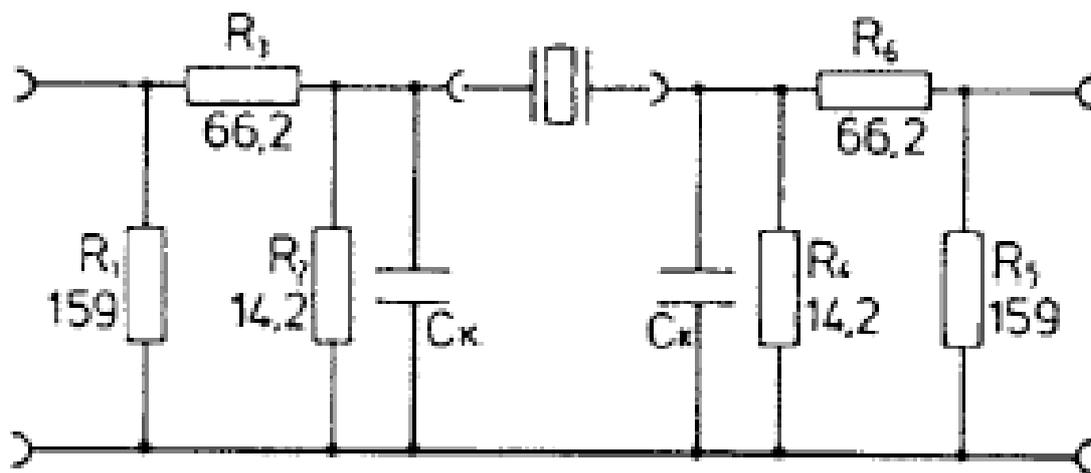


Bild 4.1: Doppel- π -Netzwerk nach (DIN) IEC 444-1

- 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

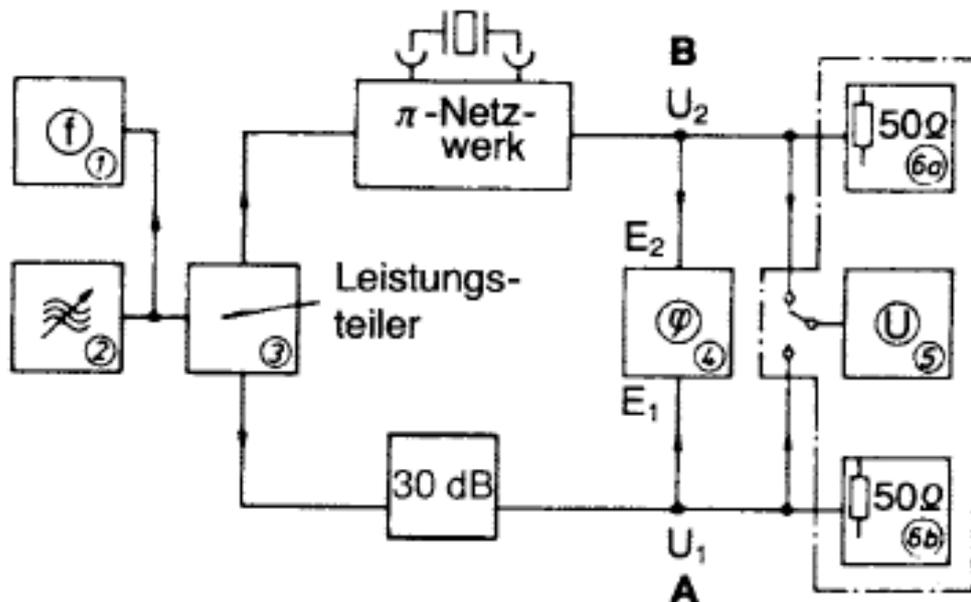


Bild 4.4: Meßanordnung für die Quarzmessung nach (DIN) IEC 444

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; width: fit-content; margin: auto;"> Les valeurs en rouge sont modifiables Ajuster f avec le curseur </div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Résistance série =</td> <td style="width: 10%; text-align: right;">48,1</td> <td style="width: 10%;">ohms</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>Réactance série =</td> <td style="text-align: right;">-258,1</td> <td>ohms</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"> </td> </tr> <tr> <td>Inductance de charge =</td> <td style="text-align: right;">4,5</td> <td>uH</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ou C =</td> <td style="text-align: right;">103,0</td> <td>pF en série avec</td> <td style="text-align: right;">7,5 uH</td> </tr> <tr> <td>XC =</td> <td style="text-align: right;">170,0</td> <td>ohms</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ou L =</td> <td style="text-align: right;">10,3</td> <td>uH en série avec</td> <td style="text-align: right;">53,0 pF</td> </tr> <tr> <td>XL =</td> <td style="text-align: right;">588,4</td> <td>ohms</td> <td></td> </tr> </table>					Résistance série =	48,1	ohms		Réactance série =	-258,1	ohms						Inductance de charge =	4,5	uH		ou C =	103,0	pF en série avec	7,5 uH	XC =	170,0	ohms		ou L =	10,3	uH en série avec	53,0 pF	XL =	588,4	ohms	
Résistance série =	48,1	ohms																																											
Réactance série =	-258,1	ohms																																											
Inductance de charge =	4,5	uH																																											
ou C =	103,0	pF en série avec	7,5 uH																																										
XC =	170,0	ohms																																											
ou L =	10,3	uH en série avec	53,0 pF																																										
XL =	588,4	ohms																																											
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																																													
14	Résultats		L1 =	1,341834E+01	mH																																								
15			C1 =	2,282981E-02	pF																																								
16			R1 =	32,3	ohms																																								
17			Q1 =	23756																																									
18			fr =	9,09326	MHz																																								
19			fa =	9,11809	MHz																																								
20																																													
21																																													
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																																													
32	Ce classeur (Xtal_caracterisation_f6dcd.xls) peut être distribué librement à condition qu'il soit non payant et non modifié.																																												
33	Pour tout commentaire (erreur, amélioration...) ou question, s'adresser à f6dcd@orange.fr																																												