

Das Geheimnis der Quarzschnitte

Bei der Lektüre von Datenblättern oder Katalogen über Schwingquarze und Oszillatoren stößt man unweigerlich auf den Begriff „Quarzschnitt“. Was hat es damit auf sich?





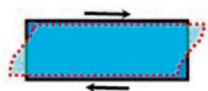
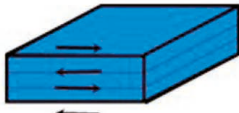
<p>Flexural</p>  <p>H (5°X) 10 ~ 50 kHz J (Duplex) 0.4 ~ 10 kHz</p>	<p>Length-extension</p>  <p>E (5°X), MT 50 ~ 500 kHz F (-18.5°X) 60 ~ 300 kHz NT 4 ~ 100 kHz</p>	<p>Face shear</p>  <p>CT 300 ~ 1100 kHz DT 60 ~ 500 kHz SL 300 ~ 1300 kHz</p>
<p>Tuning fork</p>  <p>2°X 10 ~ 100 kHz mostly: 32.768 kHz</p>	<p>Thickness shear</p>  <p>AT 800 kHz ~ 50(250) MHz BT 1 MHz ~ 50 MHz</p>	<p>TS overtones</p>  <p>AT 5 MHz ~ 750 MHz SC 5 MHz ~ 150 MHz</p>

Bild 1: Volumenakustische Resonanzmoden unterschiedlicher Quarzresonatoren

In den gängigsten Anwendungen werden Quarze als Kernelement eingesetzt, um eine stabile Frequenz zu erzeugen. Neben der zeitlichen Stabilität (der so genannten Alterung) ist die Frequenzstabilität gegenüber Temperaturschwankungen ein wichtiger Faktor. Daher haben sich die Forscher von Anfang an mit den Parametern beschäftigt, die die Frequenzstabilität über die Temperatur bestimmen.

Schwingquarze sind mechanische Resonatoren, die mittels des (inversen) piezoelektrischen Effekts elektrisch zu Schwingungen in ihrer mechanischen Resonanz angeregt werden können.

Wie bei jedem elastischen Körper gibt es auch bei Quarz verschiedene „volumenakustische“ Resonanzmoden, wie zum Beispiel Längen- oder Breitenschwingungen, Biegemoden, Schermoden entlang der Fläche oder Dicke usw.. Die Resonanz ist in erster Linie abhängig von der frequenzbestimmenden Dimension, wie Länge, Breite, Dicke oder Kombinationen davon. Daher werden die höchsten Frequenzen durch die kleinste mechanische Abmessung, d.h. die Dicke der schwingenden Platte, erreicht. Solche Resonanzen liegen im MHz-Bereich, während alle anderen Resonanzmoden im kHz-Bereich liegen. (Bild 1)

Autor:
Dipl.-Ing. Dipl.-Phys.
Bernd Neubig
AXTAL CONSULTING
www.axtal-consulting.com

Heutzutage basieren über 99% aller Quarzresonatoren auf den Schwingungsmoden der zweiten Reihe. Resonatoren, die mit

den Schwingungsmoden der ersten Reihe arbeiten, sind nur noch von historischem Interesse.

Randbemerkung: Frequenzen im GHz-Bereich können durch die Anregung von Oberflächenwellen (Surface Acoustic Waves, SAW) mittels ultrafeiner Kamm-Elektrodenstrukturen auf der Oberfläche der Kristallplatte erzeugt werden. Diese werden hier nicht behandelt.

Betrachten wir die Parameter, die die Resonanzfrequenz bestimmen, etwas genauer. Neben der relevanten mechanischen Abmessung t wird die Resonanzfrequenz durch die Dichte und die elastische Steifigkeit des Kristallmaterials bestimmt. Die Frequenz-/Temperaturstabilität wird also durch die Temperaturkoeffizienten dieser Parameter über die Temperatur bestimmt. Da Quarz ein anisotropes Material ist, sind die elastische Steifigkeit und seine Temperaturkoeffizienten in den verschiedenen Kristallrichtungen (Achsen) unterschiedlich. In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde dies für so genannte einseitig gedrehte Kristallschnitte eingehend untersucht.

Durch Variation des Schnittwinkels T (Theta) von der Y-Achse (Y-Schnitt) konnten mehrere Winkel ermittelt werden, die Frequenz-Temperatur-Koeffizienten von Null aufweisen, wie in Bild 2 dargestellt. Diese Schnitte wurden alphabetisch mit AT, BT, CT, DT ET und FT bezeichnet, wobei T für „temperaturkompensiert“ steht. Die

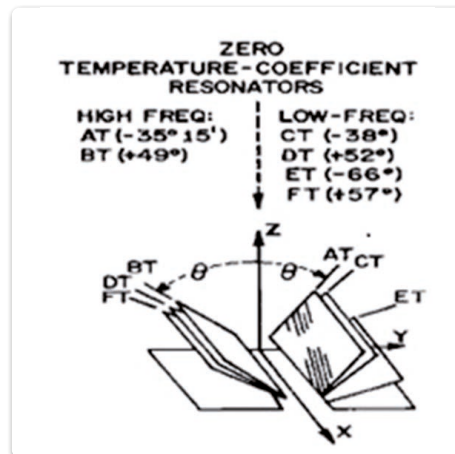


Bild 2: Ermittlung von Winkeln mit Frequenz-Temperatur-Koeffizienten von Null durch Variation des Schnittwinkels T von der Y-Achse

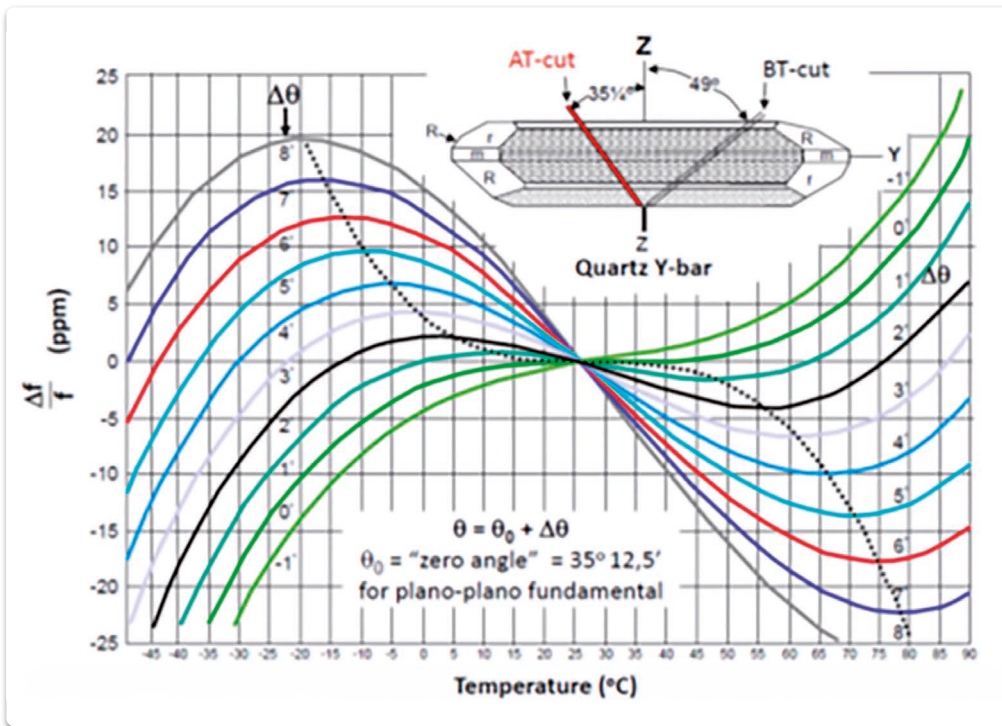


Bild 3: Vergleich der f-T-Koeffizienten von Quarzen bei unterschiedlichen Schnittwinkeln

AT- und BT-Schnitte gelten für den Dicken-Scher-Modus (MHz-Resonatoren), während die anderen Schnitte für die niederfrequenten Resonatoren im kHz-Bereich gelten. Von diesen Schnitten hat nur der AT-Schliff bis heute als Industrieprodukt „überlebt“.

Tatsächlich hat der ideale AT-Schnitt bei Raumtemperatur einen f-T-Koeffizienten von null, siehe die grüne Kurve in Bild 3, mit 0' (Nullwinkel) gekennzeichnet. Unterhalb und oberhalb der Raumtemperatur ändert sich die Frequenz jedoch in Form einer Parabel 3. Ordnung. Wird der Schnittwinkel nur um einige Bogenminuten verändert, so kippt die Temperaturkurve, wie Bild 3 zu sehen. In der Praxis liegt der optimale Schnittwinkel,

der die kleinstmögliche Frequenzabweichung über einen bestimmten Temperaturbereich ermöglicht, im Bereich von 2' bis 4' (Bogenminuten vom Nullwinkel).

Höchste Frequenzstabilität kann erreicht werden, wenn der Kristall bei konstanter Temperatur in einem temperaturstabilisierten Ofen betrieben wird. Für solche Anwendungen (ofengesteuerte Quarzoszillatoren, OCXO) liegt der optimale Schnittwinkel im Bereich von 6' bis 8', wobei die Frequenz bei der Ofentemperatur (75...85 °C) die Steigung null aufweist.

Auf der Suche nach höherer Stabilität und geringerer Empfindlichkeit gegenüber anderen Umgebungsparametern wurden doppelt gedrehte Schnitte untersucht, indem der Schnittwinkel ausgehend vom AT-Schnitt um einen Winkel \varnothing (phi) von der X-Achse weggedreht wurde (Bild 4).

Auf diesem Weg konnten mehrere Schnitte mit interessanten Eigenschaften identifiziert werden, wie FC-, IT- und SC-Schnitt (Bild 5). Der SC-Schnitt ist der beliebteste für hochpräzise, rauscharme Quarzoszillatoren. Sein Nulltemperaturkoeffizient liegt bei 90 °C, wodurch er sich sehr gut für den Betrieb in Ofenzosillatoren (OCXO) eignet. Quarze im SC-Schnitt übertreffen AT-Quarze in OCXO-Anwendungen aufgrund ihrer höheren Güte, geringeren Alterung, ihres geringeren Phasenrauschens und der geringeren Empfindlichkeit des Phasenrauschens gegenüber Vibrationen. SC-Schnitt-Resonatoren sind heute die dominierenden

Quarze in hochstabilen, leistungsstarken OCXOs – trotz der höheren Produktionskosten aufgrund der erforderlichen Kontrolle der beiden Schnittwinkel innerhalb enger Toleranzen. ◀

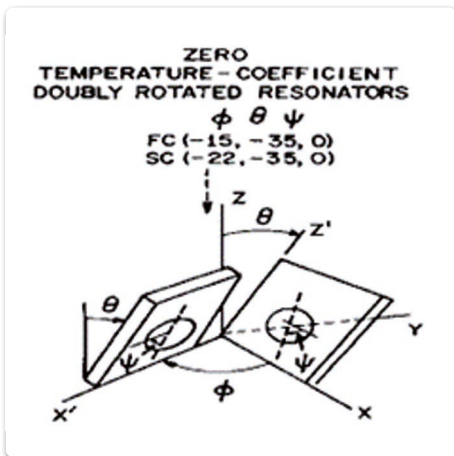


Bild 4: Untersuchung von doppelt gedrehten Schnitten für höhere Stabilität und geringere Empfindlichkeit

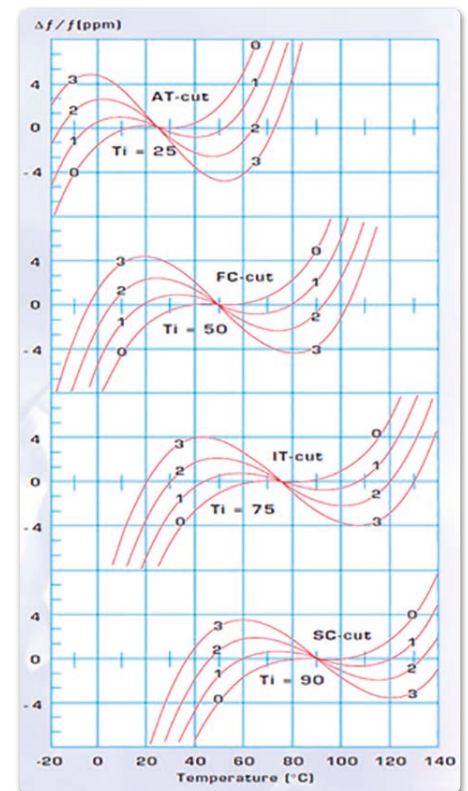


Bild 5: f-T-Koeffizienten von Quarzen mit unterschiedlichen doppelt gedrehten Schnitten