

VIII.3 Quarze

Schwingquarze sind mechanische Resonatoren aus Quarzkristall (Siliziumdioxid, SiO₂). Von vielen anderen schwingungsfähigen Materialien unterscheiden den Quarz seine piezoelektrischen Eigenschaften. In bestimmten Kristallrichtungen führt das Anlegen einer Spannung zu einer mechanischen Verformung und umgekehrt, der Quarz ist also ein elektro-mechanischer Wandler. Wenn wir einen Quarz in einer Oszillatorschaltung betreiben, so werden die elektrischen Signale in mechanische Verformungen umgesetzt, die den Quarz zum Mitschwingen anregen. Umgekehrt wird die Verformung des schwingenden Quarzplättchens in elektrische Signale zurückverwandelt. Das elektrische Verhalten des Quarzes ist das durch Hin- und Rückwandlung umgesetzte mechanische Verhalten des Quarzes. Je nach Frequenzbereich und Temperaturverhalten wird das Quarzplättchen unter bestimmten Winkeln aus

f	32768Hz	1,05MHz	4,19MHz	60MHz
R	50k	700	75	65
L	7863,5H	2,88H	120mH	7,02mH
C	0,003pF	0,008pF	0,012pF	0,001pF
Q	32380	27100	42165	40769
	Biege-schwinger Stimm-gabeltyp	Dickenscherschwinger (Grundton) SC-Schnitt		SC-Schnitt 5. Ober-ton

Abb. 8-6: Elektrische Daten von Quarzen

dem Mutterkristall herausgeschnitten. Durch Schleifen und Polieren werden dann die richtigen Abmessungen für die gewünschte Schwingungsform und Frequenz hergestellt. Für die tiefsten Frequenzen bis herab zu 1 kHz werden Biegeschwinger eingesetzt, in denen der Quarz schwingt wie ein an den 2 Schwingungsknoten aufliegender Balken oder wie eine Stimmgabel. Für sukzessive immer höher werdende Frequenzen nimmt man Längs-Dehnungsschwinger, Flächen- und Dickenschwinger. Die höchsten Frequenzen bis über 150 MHz erreichen Obertonquarze, die analog zu Orgelpfeifen mehrere Schwingungs-

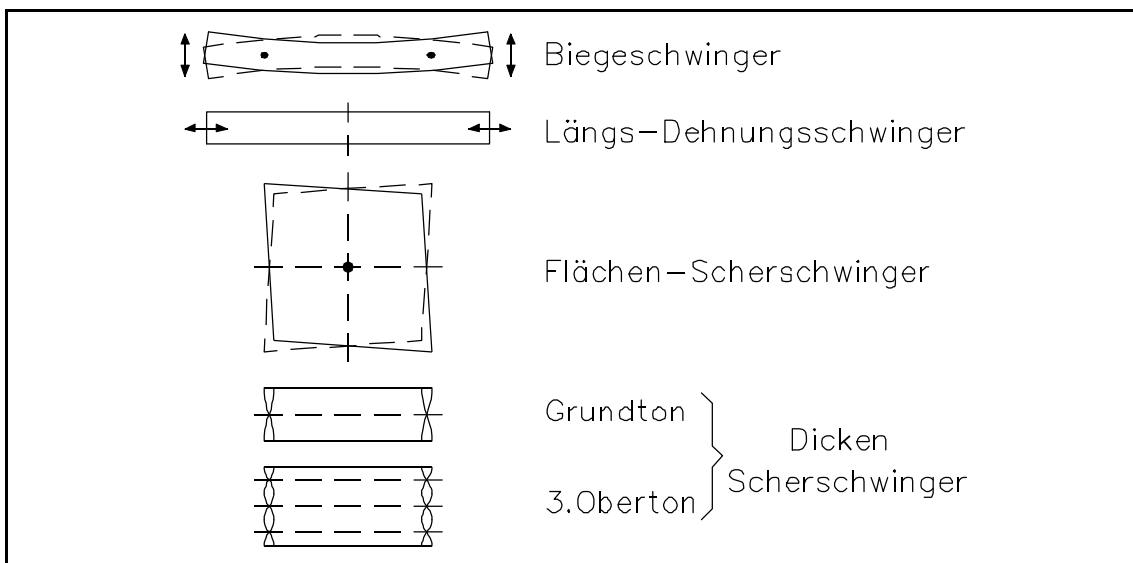


Abb. 8-7: Quarz Resonatorformen

knoten haben. Aus Gründen der elektrischen Ankopplung sind nur ungerade Obertöne möglich, also die 3-, 5-, (2n+1)-fache Frequenz.

Die extrem hohe mechanische Güte des Quarzresonators führt zu einer ebenso hohen elektrischen Güte. Der Quarz verhält sich elektrisch wie ein extrem hochohmiger Serienresonanzkreis in Reihe mit einem Widerstand R. Parallel dazu liegt die Kapazität C₀, welche sich aus Elektroden- und Gehäusekapazität zusammensetzt. Zu Q, der Güte, siehe IX.6.

Die extremen Werte für die Schaltelemente eines Quarzes sind natürlich nicht physikalisch vorhanden, sondern die Folge der Wandlung der angelegten Spannung in Verformung des Quarzes und Mitschwingen und der Rückwandlung der Verformung beim Mitschwingen in elektrische Spannung.

Man kann den Quarz auf 2 Arten schwingen lassen:

In **Serienresonanz** wirkt nur L und C des Quarzes und bei der Resonanzfrequenz verbleibt nur der Serienwiderstand R. Bei sehr hohen Frequenzen kann es erforderlich werden, die Parallelkapazität C₀ mit einer Spule L₀ zu

kompensieren. Der Schwingkreis aus L₀/C₀ soll auf die Resonanzfrequenz des Quarzes abgestimmt sein. Ohne die Kompensation kann es passieren, daß die Schaltung mit Hilfe von C₀ als RC-Oszillator schwingt und die extrem schmale Resonanz des Quarzes einfach ignoriert.

Die **Parallelresonanz** wird am einfachsten aus einer Umzeichnung des Ersatzschaltbildes verständlich. Hier verhält sich der Quarz als Parallelresonanzkreis mit einem kapazitiven Spannungsteiler. Die Reihenschaltung mit C₀ verkleinert die Kreiskapazität ein wenig, was die Resonanzfrequenz leicht anhebt. Die Parallelresonanz wird gerne eingesetzt, da sich hier der Quarz durch Parallelschalten eines Trimmkondensators in der Frequenz gut "ziehen" läßt. Die zum Quarz parallelgeschaltete Kapazität wird als Bürde bezeichnet. Quarze für Parallelresonanz werden gewöhnlich bei 30 pF Bürde abgeglichen und sind dann um einige 10⁻⁵ ziehbar.

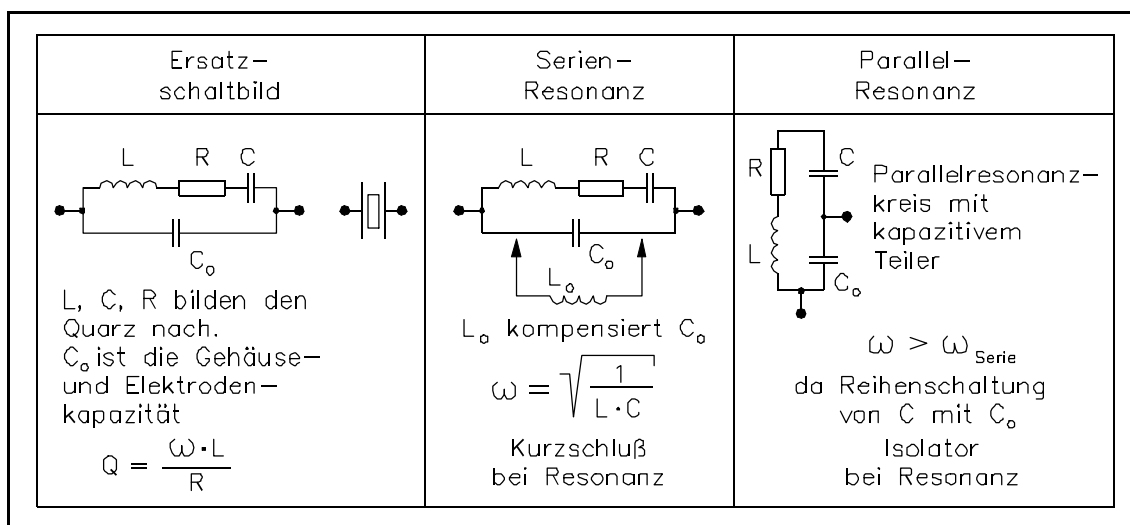


Abb. 8-8: Serien- und Parallelresonanz des Quarzes

Beispiel:

Wir betrachten den 4,19 MHz Quarz in Abb. 8-7. Aus L und C ergibt sich eine Serienresonanzfrequenz von exakt 4,194101 MHz.

$L = 120 \text{ mHy}$ $C = 0,012 \text{ pF}$ $f = 4,194101 \text{ MHz}$

In Parallelresonanz mit 30 pF Bürde wirkt als Kreiskapazität die Reihenschaltung von 0,012 pF mit 30 pF :

$L = 120 \text{ mHy}$ $C = 0,011995202 \text{ pF}$
 $f = 4,1949398 \text{ MHz}$

Die Resonanzfrequenz in Parallelresonanz ist um 839 Hz höher als in Serienresonanz.

Mit einer um 1 pF größeren Bürdenkapazität von 31 pF ergibt sich:

$L = 120 \text{ mHy}$ $C = 0,0119953566 \text{ pF}$
 $f = 4,1949127 \text{ MHz}$

Die Resonanzfrequenz sinkt um 27 Hz bei Zunahme der Bürde um 1 pF.

Mit einem Trimmkondensator parallel zum Quarz kann man die Resonanzfrequenz in diesem Bereich um 27 Hz/pF ziehen. Die Konstanz üblicher Trimmkondensatoren reicht auch für Präzisionsanwendungen völlig aus.

Andere elektrisch eingesetzte mechanische Resonatoren seien wenigstens erwähnt:

Keramische Filter bestehen analog zum Quarz aus piezoelektrischer Keramik. Sie arbeiten von einigen 100 kHz bis in den MHz-Bereich.

Keramische Resonatoren werden von einigen 100 MHz bis in den GHz-Bereich zur Stabilisierung von Oszillatoren eingesetzt.

"Mechanische Filter" haben Resonatoren aus Edelstahl mit piezokeramischen Wandlern. Ihre Frequenzen gehen kaum über 500 kHz hinaus. Stimmgabeloszillatoren werden im Tonfrequenzbereich eingesetzt.

Keiner dieser Resonatoren erreicht die hohen Güten von Quarzen. Quarze bestehen außerdem aus einkristallinem Material und haben daher keine Korngrenzen. Sie kennen damit keine Materialermüdung durch die dauernde Biegebelastung beim Schwingen und zeigen auch im Dauerbetrieb nur wenig Alterung.

