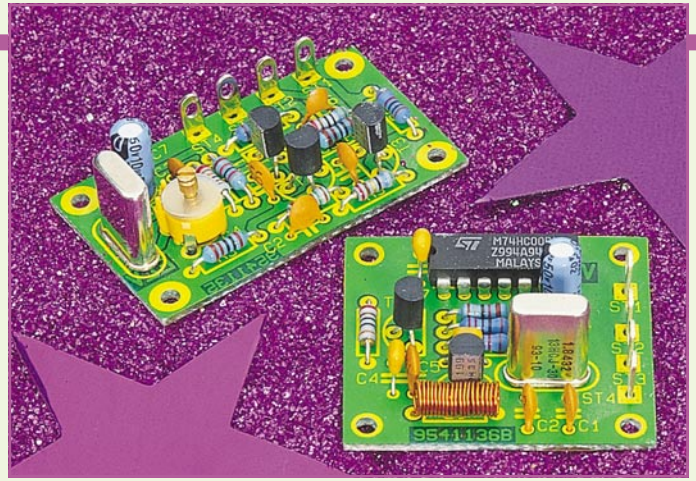


Quarz- oszillatoren

Die Funktionsweise von Quarzoszillatoren beschreibt der vorliegende Artikel. Zahlreiche Schaltungsvorschläge für verschiedene Anwendungen bieten dem Praktiker nützliche Anregungen.



Allgemeines

Für viele Einsatzfälle reicht die Frequenzkonstanz von RC- oder LC-Oszillatoren nicht aus, da die frequenzbestimmenden Bauelemente insbesondere aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit erheblichen Schwankungen unterliegen.

Wesentlich bessere Ergebnisse lassen sich mit Schwingquarzen erzielen, die mit Hilfe von elektrischen Feldern zu mechanischen Schwingungen angeregt werden. Dabei kommt der Piezo-Effekt zum Tragen.

Durch mechanische Verformung werden im Kristallgitter des Siliziumdioxids Atome verschoben, und das Ladungsmuster gerät aus dem Gleichgewicht. Es entstehen Überschüsse von positiven und negativen Ladungen an der Kristalloberfläche. Dieser Effekt funktioniert ebenfalls in umgekehrter Richtung, so daß das Anlegen einer Spannung eine Verformung des Kristalls zur Folge hat. Dabei streben die positiven Si-Atome dem Minuspol, die Sauerstoff-Atome dem Pluspol zu. Somit pendeln mechanische und elektrische Energie hin und her.

Wie bei jedem schwingfähigen System tritt bei einer bestimmten Frequenz eine Resonanz auf, die von den mechanischen Abmessungen des Quarzkristalls abhängt. Der Quarz verhält sich dabei wie ein Schwingkreis hoher Güte, wobei der Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz sehr klein ist. Man erreicht Frequenzstabilitäten im Bereich von

$$\frac{\Delta f}{f} = 10^{-6} - 10^{-10}$$

Anhand des Ersatzschaltbildes eines Schwingquarzes läßt sich das elektrische Verhalten sehr gut wiedergeben (Abbildung 1). Die Größen L und C der Ersatzschaltung werden durch die mechanischen

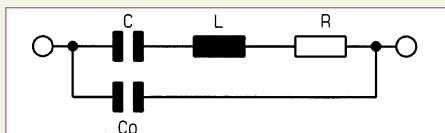


Bild 1: Ersatzschaltbild eines Schwingquarzes

Abmessungen und Eigenschaften festgelegt. Mittels des Widerstandes R läßt sich die Dämpfung charakterisieren, der Kondensator Co beschreibt die Auswirkung der von den Elektroden und den Zuleitungen

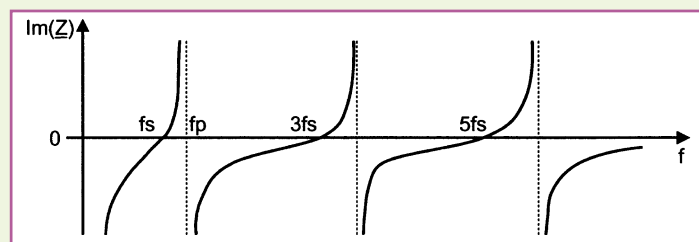


Bild 2: Impedanzverlauf eines Quarzes mit Serien- und Parallelresonanz

gebildeten Kapazität. Nachfolgend einige typische Werte für einen 5MHz-Quarz:

$$L = 100 \text{ mH}, \\ C = 0,01 \text{ pF}, \\ R = 100 \text{ } \Omega, \\ C_o = 5 \text{ pF}.$$

Die daraus resultierende Güte Q ergibt sich somit zu:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = 31600$$

Damit die Resonanzfrequenz mathematisch hergeleitet werden kann, wird zunächst die Impedanz laut Ersatzschaltung ermittelt. Der Widerstand R ist an dieser Stelle vernachlässigt.

$$Z = \frac{j}{\omega} \cdot \frac{\omega^2 \cdot L \cdot C - 1}{C_o + C - \omega^2 \cdot C \cdot C_o}$$

Laut dieser Formel ist erkennbar, daß die Impedanz der Ersatzschaltung eine Nullstelle und eine Polstelle aufweist, d.h. sie wird zu null, wenn gilt:

$$\omega^2 \cdot L \cdot C - 1 = 0$$

und strebt gegen unendlich, wenn gilt:

$$C_o + C - \omega^2 \cdot C \cdot C_o = 0$$

Es sind also eine Serienresonanz und eine Parallelresonanz vorhanden, die sich durch Auflösen obiger Gleichungen bestimmen lassen.

$$f_s = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_p = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}} \cdot \sqrt{1 + \frac{C}{C_o}}$$

Die Serienresonanz fs wird durch L und C eindeutig festgelegt, während bei der Parallelresonanz die schlecht definierte Elektrodenkapazität Co mit einfließt. In Abbildung 2 ist der Impedanzverlauf eines

Quarzes mit Serien- und Parallelresonanz dargestellt.

Soll die Resonanzfrequenz von außen veränderbar sein, so ist dem Quarz ein Kondensator Cs in Reihe zu schalten, dessen Wert groß gegenüber C sein muß (Abbildung 3). Will man den Einfluß des Kondensators ermitteln, muß die Impedanz der

Bild 3: Veränderung der Serienresonanz durch Serienkondensator

Reihenschaltung ermittelt werden. Es zeigt sich, daß die Serienresonanz ungefähr um den Faktor

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{C}{2 \cdot (C_o + C_s)}$$

veränderbar ist.

Die Parallelresonanz kann nicht beeinflußt werden.

Oszillatoren

Im weiteren Verlauf dieses Artikels wenden wir uns der Schaltungstechnik von Quarzoszillatoren zu.

Oszillatorschaltungen mit Grundton-AT-Quarzen

Die Bedeutung der Quarze mit Resonanzfrequenzen im unteren Frequenzbereich (bis 1 MHz) ist aufgrund der starken Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen, ihres starken Frequenz-Temperaturganges sowie ihres Preises (aufwendige Fertigung) stark zurückgegangen,

zumal heute die Möglichkeit besteht, mit AT-Quarzen und integrierten Teilern niedrige Frequenzen einfach und preisgünstig zu erzeugen.

Abbildung 4 zeigt eine Applikations-schaltung, in der das CMOS-IC CD4060 entsprechend beschaltet ist. Das IC besitzt einen internen Oszillator mit nachgeschaltetem 14stufigem Binärteiler. Der Ausgang 4 teilt die Grundfrequenz durch $2^4 = 16$ bis zum Ausgang 14, der durch $2^{14} = 16384$ teilt. Für die Teilerfaktoren 2, 4, 8 und 2048 stehen keine Ausgänge zur Verfügung. Die Kondensatoren C 1 und C 2 sind bei Verwendung einer anderen Quarzfrequenz anzupassen. Durch entsprechende Kombination von Quarzfrequenz und Teilerfaktor ist nahezu jede gewünschte Niederfrequenz erzeugbar.

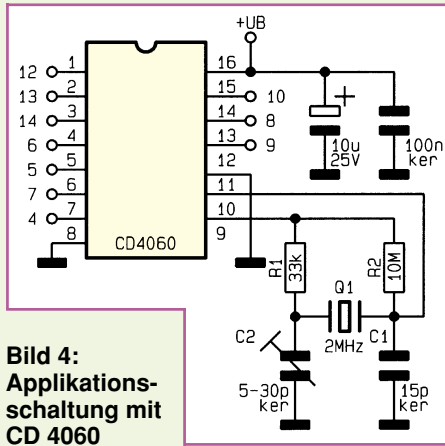


Bild 4:
Applikations-schaltung mit CD 4060

Die am häufigsten verwendeten Quarze besitzen einen AT-Schnitt (Dickenschwinger) und decken mit ihrer Grundwelle einen Frequenzbereich von ca. 750 kHz bis 20 MHz ab. Der Schnitt eines Quarzes legt das Frequenz-Temperaturverhalten fest, das sich beim AT-Schnitt als eine kubische Parabel darstellt, deren Form durch die Wahl des Schnittwinkels beeinflussbar ist.

Für Grundton-AT-Quarze sind sogenannte aperiodische Oszillatoren, d.h. Oszillatoren ohne zusätzliche Selektionsmittel, am gebräuchlichsten. Die wichtigsten Oszillatoren sind dabei der Pierce-, Colpitts- und Clapp-Oszillator.

Ein Beispiel für einen bewährten Colpitts-Oszillator ist in Abbildung 5 dargestellt. Für diese Schaltung wurde ein optimiertes Layout erstellt, das in dieser Ausgabe auf den Platinenfolien zu finden ist.

Die Transistorstufe des Oszillators ist als Darlingtonstufe ausgeführt. Aufgrund des hohen Eingangswiderstandes können die Werte für die Teilerkondensatoren C 8 und C 9 recht groß gewählt werden, womit die Rückwirkung der Transistorstufe auf die Oszillatorfrequenz klein ist.

Die Last- oder Bürdekapazität für den

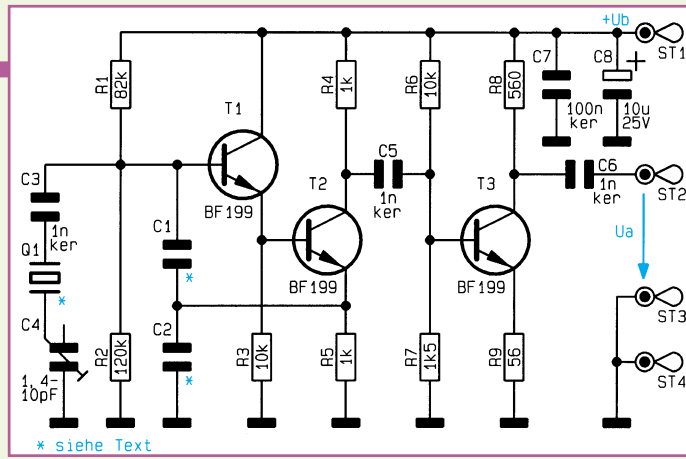


Bild 5: Colpitts-Oszillator mit Treiberstufe

diese Gegenkopplung würde der Oszillator nur schlecht

Quarz bildet die Serienschaltung von C 1 und C 2. T 3 dient als Treiber für das Ausgangssignal.

Die Schaltung arbeitet im Frequenzbereich von 2 MHz bis 25 MHz. Tabelle 1 zeigt die für den jeweiligen Frequenzbereich erforderlichen Kapazitätswerte für C 8 und C 9. Durch Nachschalten eines TTL- oder CMOS-Gatters kann ein rechteckförmiges Taktsignal generiert werden.

Der Vorteil dieser Schaltungsvariante liegt sowohl im großen Arbeitsfrequenzbereich als auch darin, daß die Quarzbelastung deutlich geringer ist als in Schaltungen, die mit Gattern realisiert sind.

Hohe Quarzbelastungen beeinträchtigen die Stabilität, die Güte und die Alterungseigenschaften. Zu kleine Quarzbelastungen hingegen können Anschwingprobleme verursachen, da eine Mindestenergie zur Schwingungserregung erforderlich ist.

f	2-6 MHz	6-15 MHz	15-25 MHz
C 1	680 pF	560 pF	220 pF
C 2	560 pF	220 pF	100 pF

TTL- und CMOS-Gatterschaltungen

Die Abbildungen 6, 7 und 8 zeigen die bekannten Grundschaltungen für Oszillatoren mit TTL- und CMOS-Gattern für Parallel- und Serienresonanz. TTL- und CMOS-Gatter sind darauf ausgelegt, zwischen 2 Zuständen umzuschalten.

Durch Gegenkopplungswiderstände ist die Kennlinie linearisierbar, so daß das Gatter sich wie ein Verstärker verhält. Ohne

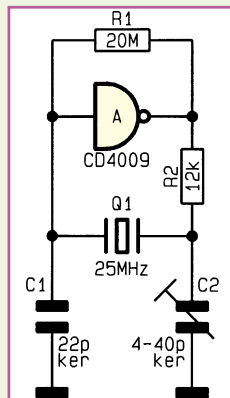


Bild 6: CMOS-Oszillator für den Frequenzbereich bis 3 MHz

oder überhaupt nicht anschwingen.

Abbildung 6 zeigt einen CMOS-Oszillator für den Frequenzbereich bis 3 MHz in Parallelresonanz. Soll die Ausgangsfrequenz kleiner als 1 MHz sein, ist dem Trimmerkondensator C 2 ein 100pF-Kondensator parallelzuschalten. R 1 nimmt die vorher besprochene Gegenkopplung vor.

Abbildung 7 stellt einen TTL-Oszillator dar, bei dem der Quarz in Serienresonanz arbeitet. Der Frequenzbereich erstreckt sich bis 5 MHz. Tabelle 2 gibt die richtige Bemessung der Kapazität C 1 an, je nach Frequenzbereich.

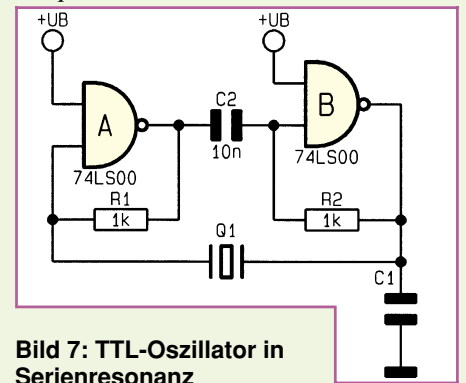


Bild 7: TTL-Oszillator in Serienresonanz

f	0,2 MHz	0,5 MHz	1 MHz	2 MHz	5 MHz
C	3,3 nF	1,2 nF	680 pF	330 pF	120 pF

Soll die Oszillatorfrequenz in höhere Bereiche vorstoßen, so müssen schnellere Inverter verwendet werden, wie z.B. ein 74HC04. Damit sind Frequenzen bis über 20 MHz erzeugbar.

Abbildung 8 zeigt die Realisierung eines solchen Oszillators. Die Kapazitäten C 1 und C 2 sind bei anderen Quarzfrequenzen

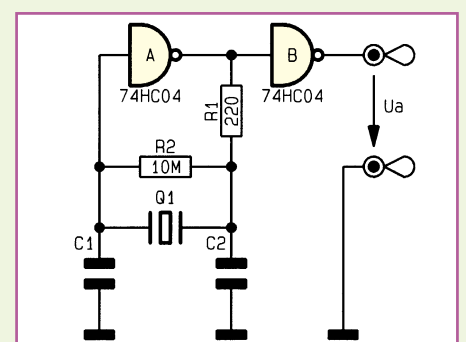


Bild 8: Oszillatorschaltung mit HC-Gatter

quenzen entsprechend den angegebenen Dimensionierungsgleichungen zu ändern.

$$C_2 = \frac{720}{f_0} \quad C_1 = \frac{C_2}{4}$$

[f₀ in MHz, C in pF]

Oberwellen-Oszillatoren

Die Fertigung von Schwingquarzen für Frequenzen oberhalb von 30 MHz ist äußerst schwierig, da die Abmessungen mit steigender Frequenz zunehmend kleiner werden.

Benötigt man hohe Frequenzen mit Quarzstabilität, besteht entweder die Möglichkeit, einen LC-Oszillator mittels einer PLL mit einem niederfrequenten Quarz zu synchronisieren oder einen Quarz auf einer Oberwelle anzuregen.

Betrachtet man den in Abbildung 2 dargestellten Verlauf des Blindwiderstandes eines Schwingquarzes, so erkennt man bei den ungeradzahligen Oberschwingungen ebenfalls Resonanzstellen. Die bisher vorgestellten Schaltungen sind zum Betreiben eines Quarzes auf einer Oberschwingung jedoch nicht geeignet. Hierzu ist ein Verstärker erforderlich, dessen Verstärkung in der Nähe der gewünschten Frequenz ein Maximum besitzt. Durch Einbringen von LC-Kreisen in den Verstärker ist dies erreichbar.

Im Frequenzbereich von 30 MHz bis 50 MHz verwendet man Quarze, die auf dem dritten Oberton schwingen, für den Bereich von 50 MHz bis 100 MHz nutzt man die fünfte Oberschwingung, während man über 100 MHz die siebte Oberwelle verwendet. Es ist schwierig eine Allround-Lösung für einen Oberwellenoszillator anzugeben, da die Dimensionierung der Bauteile recht kritisch ist und sich deshalb von Frequenz zu Frequenz ändert.

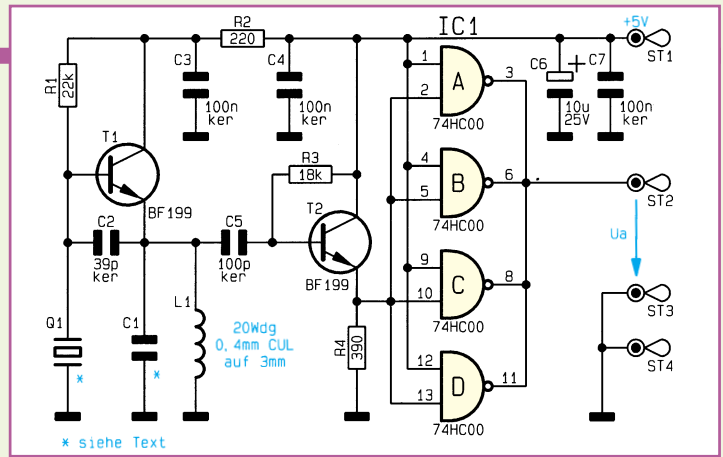
Abbildung 9 zeigt einen erprobten Colpitts-Oszillator mit nachgeschalteter Treiberstufe zur Ansteuerung von TTL-Gattern. Auch für diese Schaltung steht ein optimiertes Layout (doppelseitig) auf den Platinenfolien zur Verfügung.

Mit Hilfe des Parallelkreises L 1, C 1 wird der Quarz auf dem dritten oder fünften Oberton angeregt. Durch Variation von C 1 gemäß Tabelle 3 ist die gewünschte Frequenz erreichbar. C 3 koppelt das Signal aus und führt es der mit T 2 realisierten Pufferstufe zu, die das Treiber-IC 1 des Typs 74HC00 ansteuert.

Tabelle 3

f	C 1
32	100 pF
40	68 pF
48	39 pF
75	10 pF

Bild 9: Oberwellen-Oszillator mit nachgeschalteter Treiberstufe



Seit einigen Jahren sind integrierte Quarzoszillatoren verfügbar, für deren Betrieb eine 5V-Spannung ausreicht. Sie liefern ein TTL-kompatibles Ausgangssignal und sind für den Frequenzbereich von ca. 1 MHz bis

100 MHz erhältlich. Bei diesen integrierten Lösungen besteht im allgemeinen keine Möglichkeit, die Frequenz abzugleichen, und auch der Preis ist zu beachten.

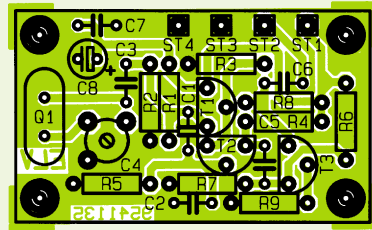
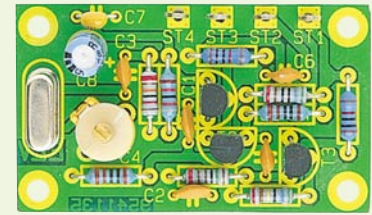
Stückliste: Quarz-Oszillator 1 (Bild 5)

- Widerstände:**
 56Ω R9
 560Ω R8
 1kΩ R4, R5
 1,5kΩ R7
 10kΩ R3, R6
 82kΩ R1
 120kΩ R2

- Kondensatoren:**
 C-Trimmer, 1,4-10pF C4
 1nF/ker C3, C5, C6
 100nF/ker C7
 10µF/25V C8
 siehe Text C1, C2

- Halbleiter:**
 BF199 T1-T3

- Sonstiges:**
 siehe Text Q1
 Lötstift mit Lötöse ST1-ST4



Ansicht des fertig aufgebauten Quarz-Oszillators 1 (Bild 5) mit zugehörigem Bestückungsplan

Diskrete Lösungen können daher oftmals günstiger sein.

Mit den in diesem Artikel vorgestellten Oszillatorschaltungen besteht die Möglichkeit, quartzgenaue und stabile Frequenzen

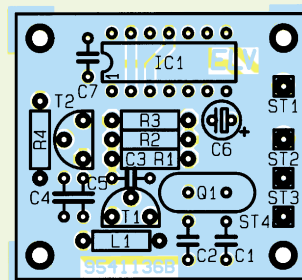
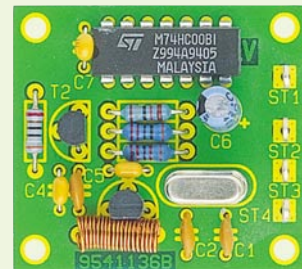
Stückliste: Quarz-Oszillator 2 (Bild 9)

- Widerstände:**
 220Ω R2
 390Ω R4
 18kΩ R3
 22kΩ R1

- Kondensatoren:**
 39pF/ker C2
 100pF/ker C5
 100nF/ker C3, C4, C7
 10µF/25V C6
 siehe Text C1

- Halbleiter:**
 74HC00 IC1
 BF199 T1, T2

- Sonstiges:**
 Spule, siehe Text L1
 Quarz, siehe Text Q1
 4 Lötstifte mit Lötöse ST1-ST3



Ansicht des fertig aufgebauten Quarz-Oszillators 2 (Bild 9) mit zugehörigem Bestückungsplan

im Bereich von wenigen Hertz bis zu ca. 75 MHz zu erzeugen, so daß für nahezu jede gewünschte Frequenz eine entsprechende Schaltung zur Verfügung steht. **ELV**