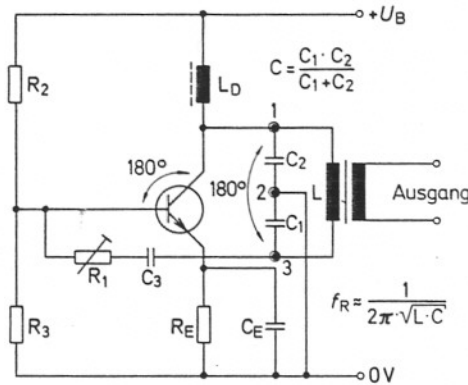


a) Basisschaltung (vgl. Bild 8.22a)



b) Emitterschaltung (vgl. Bild 8.22b)

## 8.4.2. Quarzgeneratoren

Will man Sinusspannungen mit besonders konstanter Frequenz erzeugen, so benutzt man als frequenzbestimmendes Glied einen Schwingquarz. Dieser besteht aus sehr reinem Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) und wird als Scheibe, Band oder Bälkchen aus einem Quarzkristall herausgeschnitten. Sein elektrisches Verhalten ist durch die Wechselwirkung zwischen dem direkten piezoelektrischen Effekt und dem reziproken piezoelektrischen Effekt gekennzeichnet.

Unter dem direkten piezoelektrischen Effekt versteht man die Erscheinung, daß zwischen zwei Seiten eines Kristalles bei Druck- oder Zugbeanspruchung elektrische Spannungen unterschiedlicher Polarität auftreten. Den Vorgang kann man auch umkehren — reziproker piezoelektrischer Effekt —, dabei erzeugt eine außen angelegte Spannung je nach Polarität Kompression oder Dehnung des Kristalles.

Wird der Schwingquarz an eine Wechselspannung angeschlossen, so deformiert er sich im Rhythmus der Wechselspannung. Bei bestimmten Frequenzen gerät der Kristall in Resonanz und führt mechanische Schwingungen aus, die auch fortbestehen, wenn die äußere Wechselspannung entfernt wird. Diese mechanischen Eigenschwingungen sind begleitet von piezoelektrischen Wechselspannungen an den Flächen des Quarzes. Die Schwingung klingt dann ab, weil durch Reibungsverluste die zugeführte Energie verbraucht wird.

Setzt man einen solchen Schwingquarz in den Mitkopplungszweig eines Generators, in dem Schwingungen mit der Eigenfrequenz des Quarzes möglich sind, dann gerät der Schwingquarz in Resonanz und erzwingt durch den Piezo-Effekt Schwingungen auf seiner Resonanzfrequenz, die außerordentlich konstant ist.

Schwingquarze werden für Frequenzen von etwa 1 kHz bis 150 MHz hergestellt. Die dabei auftretenden mechanischen Schwingungsformen sind sehr unterschiedlich und richten sich nach dem sogenannten Quarzschnitt, d.h., nach dem Bereich des Quarzkristalles, aus dem der Schwingquarz herausgeschnitten wurde. Für Frequenzen von 1 kHz bis 50 kHz verwendet man den Birgenschwinger, der aus einem Plättchen besteht, das sich mit der angelegten Wechselspannung durchbiegt. Für höhere Frequenzen benutzt man Flächen- und Dickschwinger, bei denen die Deformation flächenhaften Charakter hat oder die Dicke des Kristalles variiert.

In der Schaltung kann man das Verhalten des Schwingquarzes in der Nähe der Resonanz durch das Ersatzschaltbild (Bild 8.24) beschreiben.

◀ Bild 8.23 Schaltungsbeispiele zur kapazitiven Dreipunktschaltung

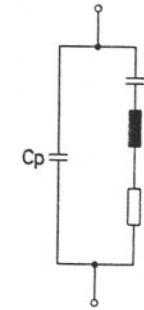


Bild 8.24 Ersatzschaltung eines Schwingquarzes in der Nähe der Resonanz

Dabei hängen die Größen  $C$  und  $L$  von den Abmessungen des Quarzes ab.  $R$  ist der Verlustwiderstand, er beschreibt die Verluste bei Resonanz. Die Kapazität  $C_p$  ist vor allem durch die Halterung des Quarzes bestimmt, sie beträgt einige pF.

Die Kapazität  $C$  liegt bei den einzelnen Schwingquarztypen fast immer in der gleichen Größenordnung  $C = 10^{-2}$  pF. Durch Schnitt und Größe des Quarzes wird vor allem die Induktivität  $L$  beeinflusst.

Aus der Ersatzschaltung geht hervor, daß der Schwingquarz eine Serienresonanz hat:

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

und eine Parallelresonanz

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

Demzufolge kann der Schwingquarz auch bei diesen beiden Frequenzen betrieben werden. Je nach Wahl der Generatorschaltung arbeitet der Quarz in Serien- oder Parallelresonanz.

Da die Serienresonanz nur von  $L$  und  $C$  bestimmt ist, also von den mechanischen Abmessungen, liefert sie eine stabile Resonanzfrequenz. Sie kann durch einen in der Reihe geschalteten Zusatzkondensator bis zu etwa 1% verändert werden. Man nennt das „Ziehen des Quarzes“. Darüber hinaus reißt die Schwingung ab. Die Parallelresonanz wird durch die äußerst unsichere Schaltkapazität  $C_p$  bestimmt. Durch Parallelschalten eines Zusatzkondensators kann der Einfluß von  $C_p$  verringert werden, darunter leidet allerdings die Güte der Resonanzkurve.

Der Schwingquarz zeigt das Verhalten eines Resonanzkreises. Er besitzt eine Serien- und eine Parallelresonanzfrequenz.

In Serienresonanz wirkt der Schwingquarz wie ein ohmscher Widerstand von wenigen Ohm. Bei Parallelresonanz ist er ein sehr hochohmiger Widerstand.

Da die Schwingfrequenz nur unwesentlich verändert werden kann, muß der Schwingquarz genau für die Betriebsfrequenz angefertigt werden. Dies geschieht durch einen Schleifprozeß, bei dem ständig die Resonanz geprüft wird.

Quarzgeneratoren liefern sehr konstante Frequenzen auch bei Temperaturschwankungen, da der Schwingquarz einen geringen Temperaturkoeffizienten besitzt. Für Normalgeneratoren und Quarzuhren wird die Temperatur außerdem thermostatgeregelt. Man erreicht dann Genauigkeiten der Frequenz bis  $10^{-9}$ , d.h., bei 50 kHz beträgt die Abweichung  $5 \cdot 10^{-5}$  Hz.

Wird die Schwingfrequenz durch Ziehkondensatoren verändert, so hängt die Frequenzgenauigkeit und Konstanz auch von diesen Zusatzelementen ab. Die besten Werte erzielt man daher ohne Veränderung der Eigenfrequenz, wenn der Quarz in Serienresonanz arbeitet, also nur von seinen mechanischen Abmessungen bestimmt ist.

Als Generatorschaltung kann jeder LC-Oszillator verwendet werden, wenn der Quarz in der Mitkopplungsbranche als „Serienwiderstand“ eingebaut wird. Der LC-Kreis ist dabei auf die Eigenresonanz des Quarzes abzustimmen, dann ist die Schwingbedingung nur bei dieser Frequenz erfüllt.

Der LC-Kreis ist meist erforderlich, weil der Quarzgenerator sonst nicht anschwingt. Er muß zunächst mit seiner Eigenfrequenz angestoßen werden. Außerdem können Quarze nicht nur bei ihrer Grundfrequenz schwingen, sondern auch auf einer Oberwelle. Der LC-Kreis verhindert ein Schwingen auf unerwünschten Quarzfrequenzen.

Die Bilder 8.25, 8.26, 8.27 zeigen einige typische Generatorschaltungen.

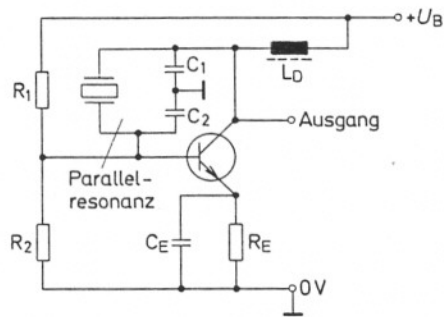


Bild 8.25 Kapazitive Dreipunktschaltung, Quarz als Teil eines Parallelresonanzkreises

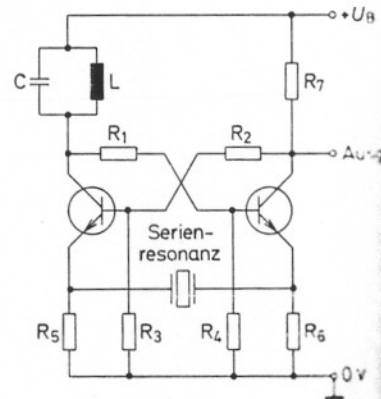


Bild 8.26 Zweistufige Schwingung, Quarz in Serienresonanz

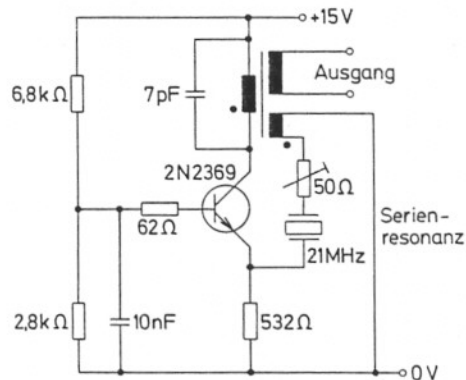


Bild 8.27 Meißner-Oszillator in Basisschaltung, Quarz in Serienresonanz