

Worauf es beim Quarzoszillator-Design ankommt

In diesem Beitrag wird eine zu empfehlende Quarzoszillatorschaltung vorgestellt und detailliert erläutert. Der Leser erhält einige Richtlinien für die Auswahl und Bemessung der Einzelbauteile. Schließlich erhält er noch wertvolle Tipps, um Unstabilität und Anlaufprobleme zu vermeiden.

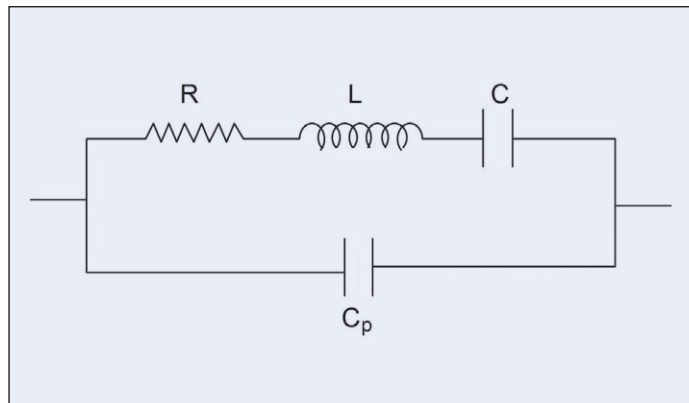


Bild 1: Quarz-Ersatzschaltung

Bild 1 zeigt die bekannte Quarz-Ersatzschaltung. Da eine Serien- und eine Parallelkapazität existieren, sind Serien- und Parallelresonanz möglich. C ist groß gegenüber C_p , der parasitären Kapazität der Anschlüsse, daher liegen die Frequenzen für Serienresonanz (f_s) und Parallelresonanz (Anti-Resonanz f_a) dicht beieinander. Die Serienresonanzfrequenz ist die kleinere. Bild 2 skizziert den grundsätzlichen Verlauf der Impedanz über der Frequenz.

Auf der Serienresonanzfrequenz erscheint ein Quarz praktisch rein reell, da die Blindwiderstände von L und C betragsgleich sind. Der Blindwiderstand von C_p ist aber viel größer als R, sodass diese Kapazität vernachlässigt werden kann. Für die Serienresonanzfrequenz gilt daher die Thomsonsche Schwingkreisformel:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Wenn der Quarz auf seiner Parallelresonanzfrequenz arbeitet, erscheint er hingegen induktiv. In diesem Fall übt auch die reaktive Umgebung des Quarzes, die man am besten durch eine Lastkapazität C_L darstellt, einen Einfluss auf die Schwingfrequenz aus. Sie kann deutlich größer als C_p sein. Daher findet man in Katalogen eine zusätzliche Kapazitätsangabe, die sogenannte Bür-

dekapazität von z.B. 15 pF. Nur wenn der Quarz diese an seinen Anschlüssen sieht, stimmt die angegebene Parallelresonanzfrequenz. In dieser Betriebsweise oszilliert der Quarz auf folgender Frequenz:

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_L C_P}{C_L + C_P}}}$$

Im Parallelresonanzmodus ist es möglich, die Oszillatorfrequenz durch Senken der externen Kapazität näher an die Serienresonanzfrequenz heranzubringen (abzusenken). Viele Oszil-

latorschaltungen setzen auf die Parallelresonanz des Quarzes.

Bild 3 zeigt eine empfehlenswerte Quarzoszillatorschaltung. Der Quarz arbeitet darin auf seiner Parallelresonanz. Der Inverter, eine interne Stufe in einem größeren Chip, arbeitet als Verstärker in AB-Schaltung und bewirkt 180° Phasendrehung, während das Gegenkopplungsnetzwerk aus Quarz, R_1 , C_1 und C_2 weitere 180° bewirkt. Die gesamte Phasendrehung in der Schleife ist also 360°. Dies erfüllt eine der Bedingungen für Oszillation. Eine weitere Bedingung für gutes Anlaufverhalten und stabile Schwingungen lautet, dass die Verstärkung der geschlossenen Schleife größer als 1 sein muss.

Der Widerstand R_f bewirkt eine Gegenkopplung (negative Rückkopplung) und legt den Arbeitspunkt des Inverters etwa auf halbe Betriebsspannung. Dann arbeitet der Inverter linear und mit hoher Verstärkung. Der Wert des Widerstands ist hoch, gewöhnlich liegt er im Bereich 500 kOhm bis 2 MOhm. Einige der ICs von MX·COM besitzen diesen Widerstand bereits

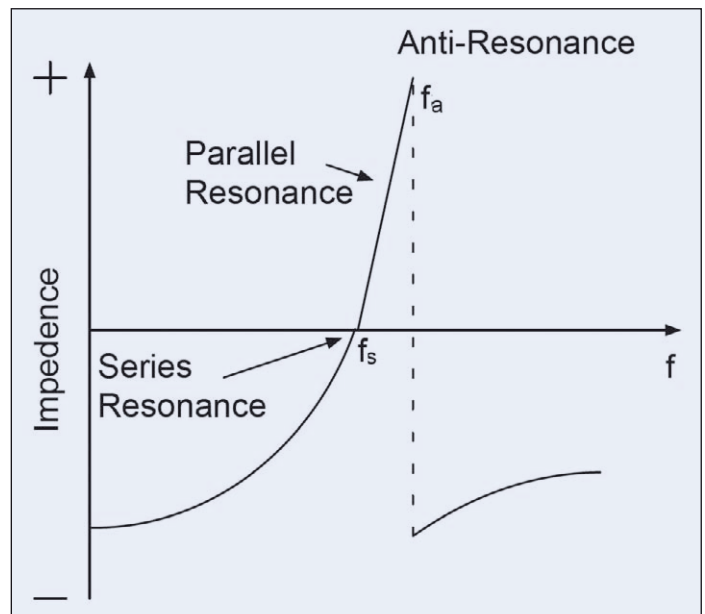


Bild 2: Impedanz eines Quarzes über der Frequenz

Quelle:
Crystal Oscillator Circuit
Design, Application Note
MX·COM Inc., Doc. #
20830065.001,
www.mxcom.com
frei übersetzt von FS

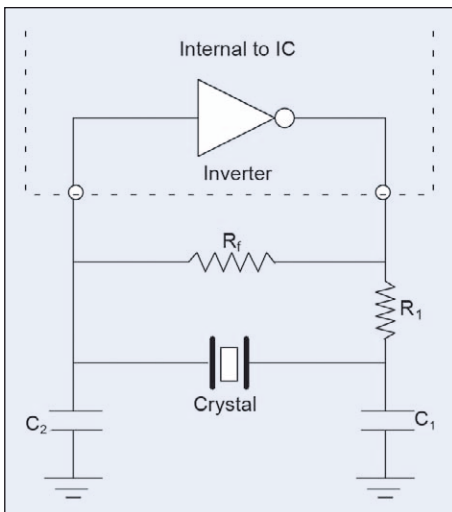


Bild 3: Eine oft anzutreffende Oszillatorschaltung

intern. Bezüglich der externen Komponenten bemühe man das Datenblatt.

Die Kondensatoren C_1 und C_2 bilden im Wesentlichen die Lastkapazität. Das Optimum für C_1 geht aus dem Quarz-Datenblatt hervor. Die folgende Formel kann man nutzen, um C_1 und C_2 zu ermitteln:

$$C_L = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} + C_S$$

Hierin ist C_S die Streukapazität zwischen den Anschlüssen des Quarzes. Sie wird von den Leitungen auf der Platine gebildet und kann mit typisch 5 pF angesetzt werden. Üblicherweise sind C_1 und C_2 gleich oder etwa gleich. Für z.B. 15 pF Bürdekazität wählt man dann z.B. 18 und 22 pF (rein rechnerisch je 20 pF). Große Werte von C_1 und/oder C_2 senken die Frequenzstabilität und verschlechtern dazu noch das Anlaufverhalten.

R_1 dient der Begrenzung bzw. Reduktion der Spannung am Quarz. Damit wird eine Überlastung des Quarzes verhindert. R_1 und C_1 bilden einen Wechselspannungsteiler. Man bemisst diesen so, dass der Inverter einerseits noch seinen gesamten Ausgangsspannungsspielraum nutzen kann, aber andererseits die Spannung am Quarz auf etwa 60% dieses Rail-to-Rail-Bereichs herabgesetzt wird. Dies bedeutet praktisch, dass der Betrag des Blindwiderstands von C_1 auf der Schwingfrequenz in etwa dem Wert von R_1 entspricht. Wegen der Phasendrehung des RC-Glieds von 90° entsprechen die Teilspannungen an R und C im Falle $-X_C = R$ bekanntlich 71% der Gesamtspannung.

Stets ist abzusichern, dass die im Quarz umgesetzte Verlustleistung in den Grenzen des vom Hersteller angegebenen Bereichs bleibt. Ein Überlasten des Quarzes bedeutet in der Regel dessen Zerstörung.

Nur idealerweise erzeugt der Inverter genau 180° Phasen-Shift. Eine Störgröße ist hier seine Verzögerungszeit, die sich praktisch wie eine zusätzliche Phasen-Shift äußert. Daher ist es günstig, wenn das Netzwerk mit dem Quarz etwas weniger als 180° verursacht. Hierzu kann man R_1 variieren. Änderungen an C_1 und C_2 sind nicht erforderlich. In einigen Applikationen ist R_1 sogar entbehrlich, weil alle Forderungen auch ohne ihn erfüllt werden. Andere ICs haben R_f , R_1 , C_1 und C_2 bereits intern; hier ist das Design natürlich am einfachsten. Es genügt ja, lediglich den Quarz an die Pins XTAL anzuschließen.

Abschließend noch einige wichtige Tipps:

- Wählen Sie einen Quarz mit einem geringen R (üblicherweise als Effective Series Resistance, ESR bezeichnet), um Anlaufprobleme zu vermeiden. Ein geringer ESR bedeute hohe Schleifeverstärkung.
- Reduzieren Sie möglichst Streukapazitäten im Platinen-Layout durch kürzestmögliche Leitungen. Auch dadurch vermindern sich Anlaufprobleme, und die Frequenz ist genauer und stabiler.
- Testen Sie die Schaltung immer im gesamten möglichen Temperaturbereich und im gesamten möglichen Betriebsspannungsbereich, um abzusichern, dass der Oszillator unter allen eventuell vorkommenden Betriebsbedingungen sicher anschwingt und stabil oszilliert. Ändern Sie erforderlichenfalls Bauteilwerte.
- Für beste Ergebnisse sollte ein Quarzoszillator-Design den Invertereingang mit einer Spitzenspannung des erzeugten Signals von bis zu etwa 40% der Betriebsspannung beaufschlagen. Mit im Gabel-Schnitt hergestellten Quarzen kann man dieser Forderung generell nicht entsprechen. Es empfiehlt sich, modernere bis modernste Quarze zu verwenden und dazu eventuell einen Hersteller zu konsultieren.
- Der zu empfehlende Weg, um R_1 zu optimieren, besteht darin, zunächst C_1 und C_2 zu ermitteln und dann experimentell mit einem Einstellregler für R_1 , eingestellt auf den Wert wie oben beschrieben, die Schaltung zu testen. Durch Variieren des wirksamen R_1 -Werts kann man die Grenzen der Funktionstüchtigkeit der Schaltung austesten und erhält so einen Hinweis auf den optimalen Wert von R_1 . ◀