

# Oszillator-Design für Low-Power-Anwendungen

Dieser Anwendungsbericht beschreibt, wie das Design eines niederfrequenten Oszillators und die Quarzauswahl den Betriebsstrom beeinflussen. Wenn der Oszillator an einer Stromquelle mit begrenzter Kapazität, wie z.B. einer Lithiumzelle oder einem Super-Kondensator betrieben wird, erhöht eine Minimierung des Stromverbrauchs die Betriebszeit.

## Einführung

Maxim hat ein großes Angebot an batteriebetriebenen Low-Power-Echtzeituhren (RTCs). Eine wesentliche Überlegung beim Design einer RTC besteht bei Maxim immer darin, den Leistungsbedarf des Oszillators zu minimieren, wenn der RTC-Baustein aus der Reservestromversorgung betrieben wird, um die Lebensdauer der Backup-Stromquelle zu maximieren. Quarzoszillatoren liefern angemessene Genauigkeit, und die jahrelangen Entwicklungsbemühungen haben sich daher vor allem auf die Minimierung der Leistungsaufnahme konzentriert. Zu den Zielen des Oszillatordesigns gehören u.a.:

- Genügend Strom und Verstärkung bereitstellen, um den Schwingvorgang zu starten und aufrecht zu erhalten.
- Der Oszillator muss in einem breiten Betriebsspannungsbereich arbeiten können.
- Der Einfluss externer Störungen auf die Genauigkeit muss minimiert werden

## Entscheidende Quarz- und Oszillator-Parameter

Bild 1 zeigt ein Ersatzschaltbild eines Quarzresonators. Der Quarz hat zwei Frequenzen mit der Phasenverschiebung 0 zwischen Strom und Spannung, wie aus Bild 3 zu ersehen ist. Die niedrigere Frequenz ist die Serienresonanzfrequenz, bei der sich die Reaktanzen von L1 und C1 aufheben und die Impedanz allein durch R1 bestimmt wird. Die zweite, höhere Frequenz ist die Parallel-Resonanzfrequenz. Hier erreicht die Quarz-Impedanz ein Maximum.

Eine Oszillatorschaltung für Parallelresonanz (Bild 2) benötigt einen Quarz, der für den Betrieb mit einer festgelegten Lastkapazität ausgelegt ist. Dies führt zu einer Schaltung, die auf einer Frequenz zwischen der Serien- und der Parallelresonanzfrequenz arbeitet. Eine Änderung der Lastkapazität verursacht auch eine Änderung der Oszillatorfrequenz.

Der äquivalente Serienwiderstand (ESR) eines Quarzes tendiert dazu, sich nach dem SMT-Reflow-Lötvorgang zu erhöhen. Daher kann ein SMT-Quarz, der ansonsten einem Quarz mit Durchsteck-Anschlüssen ähnlich ist, eine höhere maximale ESR-Spezifikation aufweisen. Ebenso haben kleinere Stimmgabelkristalle normalerweise höhere ESR-Werte als die größeren Ausführungen.

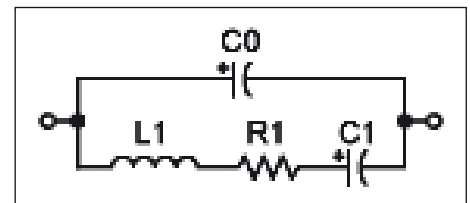


Bild 1: Ersatzschaltbild eines Quarzresonator

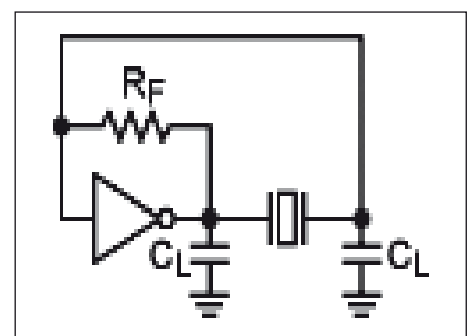


Bild 2: Oszillatorschaltung für Parallelresonanz

## Oszillator-Strom

Wie Eric Vittoz beobachtet hat, kann, wenn beide Lastkapazitäten in einer Quarzoszillatorschaltung (Bild 2) den gleichen Wert haben, der Mindeststrom (oder die kritische Transkonduktanz) zur Erzeugung einer Schwingung durch die nachfolgende Gleichung angenähert ausgedrückt werden:

$$g_{crit} = 4\omega^2 \times C_L^2 \times R_{ESR}$$

Darin ist:

$$\frac{I_o}{I_{Ocrit}} = \frac{x}{2} \times \frac{I_{B0(x)}}{I_{B1(x)}}$$

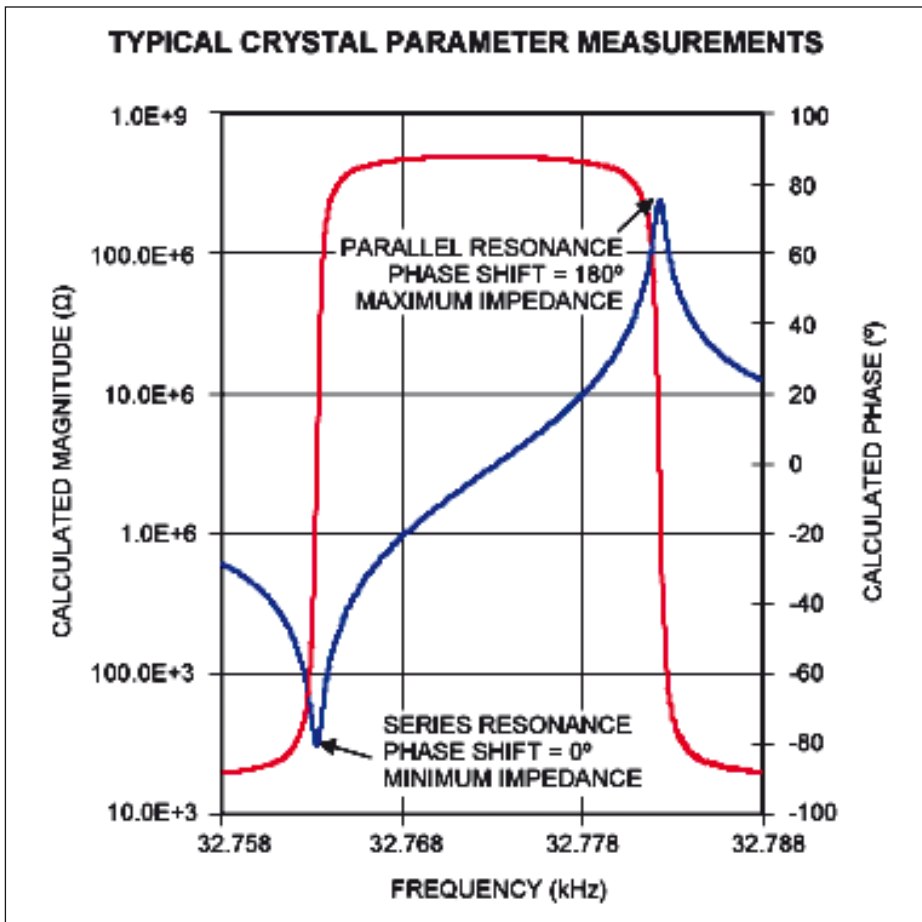
- $\omega$  die Frequenz in Radian
- $C_L$  die äquivalente kapazitive Last
- $R_{ESR}$  der ESR des Quarzes

Der Oszillator ist ein CMOS-Bauelement. Vittoz stellte auch fest, dass die Oszillatoramplitude und der Biasstrom gemäß folgender Gleichung in Beziehung zueinander stehen:

$$\frac{I_o}{I_{Ocrit}} = \frac{x}{2} \times \frac{I_{B0(x)}}{I_{B1(x)}}$$

Darin ist:

maxim integrated  
Application Note 4247  
Oscillator Design Considerations for  
Low-Current Applications  
2011



**Bild 3: Der Quarz hat zwei Frequenzen mit der Phasenverschiebung 0 zwischen Strom und Spannung**

$$x = \frac{|V_1|}{nU_T}$$

und  $I_{BO}$  sowie  $I_{BI}$  sind modifizierte Besselfunktionen erster Ordnung.

Wir können daher das Verhältnis zwischen dem Oszillatorstrom bei einer gegebenen Oszillatorspannung mit verschiedenen Werten von ESR und  $C_L$  ermitteln, wie das folgende Beispiel verdeutlicht. Dafür wurden folgende Annahmen gemacht:

$$V_1 = 400 \text{ mVpp}$$

$$nU_T = 26 \text{ mV}$$

$$ESR = 35 \text{ kohm}$$

$$C_L = 6 \text{ pF}$$

Damit ergibt sich:

$$\frac{I_O}{I_{Ocrit}} \approx 4$$

und

$$I_O = 4\omega^2 x C_L^2 x R_{ESR} x nU_T x 4$$

$$\approx 4 \times (32,768 \times 6,283)^2 \times (6 \times 10^{-12})^2 \times 35 \times 10^3 \times 0,026 \times 4$$

$$\approx 22,2 \text{ nA}$$

Tabelle 1 zeigt das Verhältnis von sowohl  $C_L$  als auch ESR zum Oszillatorstrom, unter Verwendung der obigen Werte für  $V_1$  und  $nU_T$ .

ESR (Ω)	$C_L$ (pF)	$I_O$ (nA)
35000	6	222
70.000	6	44,4
35000	12,5	889
70000	12,5	1778

Da in der Gleichung für  $g_{merit}$  der Term  $C_L$  quadriert wird, hat eine Verdoppelung der Lastkapazität eine Vervierfachung des Oszillatorstroms zur Folge. Eine Verdoppelung des ESR-Wertes bewirkt, dass sich auch der benötigte Oszillatorstrom verdoppelt. Beachten Sie, dass dies der geschätzte minimale Oszillatorstrom ist, der nicht den Strom umfasst, der den Stromverbrauch zusätzlicher Schaltungen zum Beispiel zur Verstärkung der Oszillatorspannung benötigt wird, noch enthält er den Strom in den

Bauelementen, die zur Teilung der Frequenz auf 1 Hz benötigt werden.

## Anforderungen an das Oszillator-Design

Ein Oszillator sollte so ausgelegt werden, dass er über ausreichende Verstärkung verfügt, um über dem gesamten Betriebstemperatur- und Spannungsbereich einwandfrei arbeiten zu können. Die Amplitude muss immer ausreichend groß sein, um die folgenden Verstärker- und Pufferstufen unter Betriebsbedingungen ansteuern zu können. Um den Strombedarf des Oszillators bei einer gegebenen Oszillatorspannung zu minimieren, ist eine niedrige Lastkapazität  $C_L$  wünschenswert. Eine niedrigere Lastkapazität erhöht jedoch die Empfindlichkeit des Oszillators gegenüber externen Störungen. Eine geringe Auswahl an Quarzen mit niedrigem  $C_L$  kann zudem die Entscheidung für einen Quarz mit höherer Lastkapazität erforderlich machen, auch wenn dies auf Kosten eines steigenden Oszillatorstroms geht. Wenn ein Design z.B. ein kleineres Quarzgehäuse erforderlich macht, wird eine Oszillatorschaltung benötigt, die einen Quarz mit hohem ESR ansteuern kann und den nötigen höheren Oszillatorstrom liefert.

Zusätzliche Schaltungen mit wünschenswerten Funktionen wie z.B. Glitch-Filter zur Verbesserung der Störempfänglichkeit, oder ein Detektor zur Erkennung des Oszillatorstops erhöhen natürlich die gesamte Stromaufnahme der Schaltung.

## Zusammenfassung

Man muss einige Kompromisse bei der Dimensionierung eines Oszillators für eine Low-power-RTC beachten. Zunehmende Lastkapazität erhöht die Störungsempfindlichkeit und kann eine größere Auswahl an Quarztypen erfordern, auch auf Kosten des Oszillatorstroms. Ebenso erfordert das Design eines Oszillators, damit er auch mit Quarzen mit verhältnismäßig hohen ESR arbeitet, einen höheren Oszillatorstrom. Nützliche Zusatzschaltungen können den Strombedarf zusätzlich erhöhen.

## Referenzen

1. Ecliptek Corporation, Glossary von Terms für Crystals, [www.ecliptek.com](http://www.ecliptek.com).
2. Eric A. Vittoz, „High-Performance Crystal Oscillator Circuits: Theory and Application,“ IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 23, Nr. 3 (Juni 1988).
3. Oszillator-Stopp(OSF)-Flag-Bit-Beschreibung in folgenden Datenblättern: DS1337, DS1338, DS1339, DS1340, DS1341, DS1388, DS1390/91/92/93 und DS1318