

# Auswahl von HF-Schwing- und Takterzeugungsquarzen

**Crystal Analyzer - Analysis will be performed into 3-port data spaces s\_11 and s\_21 !!!**

**Equivalent Circuit**

L = 23.21588 mH  
 C = 17.05611 fF  
 R = 14.590725327 Ohm  
 C0 = 5.011703375E pF  
 $f = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C} = 7.9981112359$  MHz  
 $R \cdot Q = \sqrt{L/C} = 1166.6821230$  x1000 Q = 79960.5

auto-optimize  
 source = S11

**Extended Resonance Info**

Model Simulation:  
 f1: |Z| maximum: 8.0116948 MHz  
 f2: Im(Z) = 0: 8.0117095 MHz  
 f3: |Z| minimum: 7.9981066 MHz

Measurement:  
 f4: |Z| maximum: 8.0116864 MHz  
 f5: Im(Z) = 0: 8.0117751 MHz  
 f6: |Z| minimum: 7.998114 MHz

Figure of Merit = 0.0283

**Batch Crystal Analyzer** [measure] [save list] [clear list]

#	f / Hz	Q	L / H	C / F	R / Ohm	C0 / F	figure of merit	F1 / Hz	F2 / Hz
1	7998111.24	79961	0.02321588452	1.705611629E-14	14.59	5.011703375E-12	0.0283	8011694.8	8011709.5

Ergebnis einer Quarzanalyse  
(Quelle: Wikipedia, Appaloosa)

**Obwohl Quarze auch in den letzten Jahren beständig weiterentwickelt wurden, sodass heute beispielsweise Grundwellentypen mit sehr hoher Frequenz oder Ausführungen in sehr kleiner Bauformen verfügbar sind, gelten bei der Quarzauswahl immer noch bewährte Richtlinien.**

Während man bei der Auswahl von Quarzen für die Takterzeugung, etwa bei Mikrocontrollern, nicht allzu penibel sein muss, sollte man bei reinen HF-Schwingerschaltungen sorgsamer vorgehen. Der HF-Techniker sieht sich oft mit beiden Aufgaben konfrontiert, da Datenübertragungen vermehrt per Funk stattfinden. Daher haben einige Mikroprozessoren gleich einen Senderteil on board.

### Quarze anfertigen lassen

Im Gegensatz zu Taktgeneratoren erfordern Funkanwendungen häufig Quarze, die keine Standardfrequenzen aufweisen. Diese muss man dann angefertigen („schleifen“) lassen. Der Quarzhersteller benötigt für ein zielgerichtetes Vorgehen Antworten auf mehrere Fragen:

- Soll der Quarz auf Grund- oder Oberwelle schwingen (Grundwelle: Aufdruck in kHz, Oberwelle: Aufdruck in MHz)?
- Soll der Quarz in Serien- oder Parallelresonanz betrieben werden?
- Welche Frequenztoleranz ist zulässig?
- Welche Temperaturstabilität wird gewünscht?
- Welcher Einsatztemperaturbereich ist gefordert?

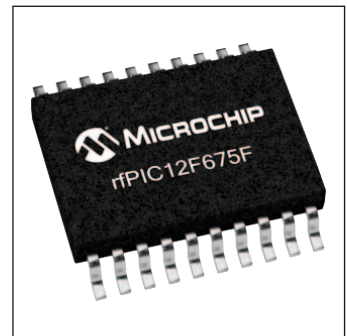
- Welche Halterung soll es sein?
- Welche Lastkapazität liegt vor?
- Soll die Frequenz „ziehbar“ sein (Pullability).
- Welche Güte ist erforderlich?
- Welche Spannungsbelastung soll zulässig sein?

Man kann diese Fragen beantworten, wenn man das Ersatzschaltbild eines Quarzes kennt und weiß, wie die Oszillatorschaltung arbeitet. Weitere Hinweise geben Normen, wie DIN EN 60122-1, -2 und -3 (Grundlagen) oder DIN EN (IEC) 60679ff (Oszillatoren).

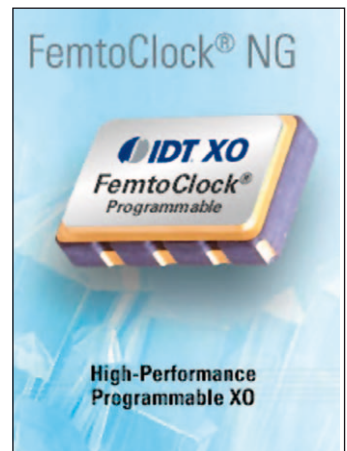
### Der Quarz für die Takterzeugung

Da die Übertragungsraten noch immer sukzessive ansteigen, trifft man auch auf immer höhere Taktfrequenzen. Mit dieser Tatsache verbunden sind strengere Anforderungen bei der Quarzauswahl. Ziel ist ein unter allen Umgebungsbedingungen stabil arbeitender Quarzoszillator. Man konsultiere daher sorgfältig das Datenblatt des Takterzeugungs-ICs. Auch hier kommen einige der oben genannten Fragen ins Spiel.

- Gängige Taktfrequenzen sind:
- 1,8432 MHz für UARTs



Der rPIC12F675 Mikrocontroller hat auch einen 434 MHz ASK/FSK RF Transmitter integriert



Die neuen Typen FemtoClock NG sind Quarzoszillatoren, welche die Pegel LVPECL, LVDS und LVCMOS mit Frequenzen von 15,48 bis 1300 MHz ausgeben

Quellen:  
 [1] Microcontroller.net, www.microcontroller.net  
 [2] Elektronik-Praxis, www.elektronikpraxis.vogel.de

Abkürzung	Bezeichnung	Frequenzbereich	Beschreibung	Anmerkung
LP	Low-Power Crystal/Resonator	min. 200 kHz	Quarz, Resonator oder externer Takt	minimaler Stromverbrauch
XT	Crystal/Resonator	100 kHz ... 4 MHz	Quarz, Resonator oder externer Takt	-
HS	High-Speed Crystal/Resonator	min. 4 MHz	Quarz, Resonator oder externer Takt	höchste Geschwindigkeit
RC	Widerstand-Kondensator	30 kHz ... 4 MHz	externer Widerstand und Kondensator	-
ER	externer Widerstand	10 kHz ... 8 MHz	nur ein externer Widerstand	garantiert bis 4 MHz
INTRC	internes RC-Glied	4 MHz	ohne externe Bauelemente	ca. 8% Toleranz
INTOSC	interner Oszillator	4 MHz	ohne externe Bauelemente	max. 2% Toleranz
EC	External Clock	nicht definiert	externer Takt, kein Taktausgang	-

## Mögliche Betriebsarten bei der Takterzeugung nach [1]

- 3,686400 MHz für Mikrocontroller und UARTs
- 11,0592 MHz dto.

Diese Frequenzen erlauben ganzzahlige Divisionen zu üblichen Bitraten, wie 9600 bps.

- 12,0000 MHz bei USB-Geräten
- 25,000 MHz bei Fast Ethernet und Media Independent Interface (MII)
- 33,33 MHz sind üblich bei Hauptprozessoren vor der PLL

Grundsätzlich kann ein Arbeitstakt (etwa für einen PIC) von einer externen Quelle stammen, mit einem eigenen Oszillator und einigen externen Bausteinen oder lediglich einem externen Widerstand selbst erzeugt werden. Auf welche Art und Weise der PIC zu seinem Takt kommt, wird im Rahmen der Möglichkeiten bei seinem Brennen festgelegt. Die Konfiguration lässt sich aber schon im ASM-File definieren. Man unterscheidet die Betriebsarten lt. Tabelle.

Mit der Verbreitung mobiler Geräte sind Oszillatoren gefragt, die stabil in einem großen Temperaturbereich arbeiten und dabei möglichst wenig Leistung verbrauchen. Ein Quarz selber verbraucht praktisch keine Leistung, also kommt es auf die Schaltung an! Durch deren richtige Wahl lässt sich sehr viel Strom in einer batteriebetriebenen Applikation sparen. Die Firma Petermann-Technik beispielsweise hat mit ihren Ultra-Low-Power-Micro-Oszillatoren der Serie ULPO gezeigt, was hier möglich ist. Die Oszillatoren sind mit den

Maßen 1,5 x 0,8 mm 85% kleiner als übliche Oszillatoren mit 3,2 x 2,5 mm und verbrauchen bei 2,048 MHz nur 50 µA an 1,8 V. Das sind etwa 3,3% gegenüber einem 1,8-V-TCXO mit Clipped-Sinewave-Ausgang oder sogar 0,5% gegenüber einem normalen Clock-Oszillator (CMOS/TTL-kompatibel). Frequenzen zwischen 1 und 26 MHz sind möglich.

In den modernen und somit komplexen Anwendungen findet man mehrere Taktsignale für verschiedene externe Schnittstellen (Ethernet, PCI, RapidIO, USB etc.) sowie weitere Takte für interne Funktionen (System-CPU, spezielle Subsysteme). Die Verwendung mehrerer Quarzoszillatoren bedeutet hier zu viel Aufwand, Platzbedarf, Kosten und Strom. Eine ebenso elegante wie einfache Lösung besteht aus einem einzigen Quarz und einem Taktgenerator mit mehreren Ausgängen. Solche Produkte sind von verschiedenen Herstellern lieferbar. Man unterscheidet hier zwischen Typen mit festen und programmierbaren Frequenzen.

„Doch selbst bei einem programmierbaren Multi-Output-Taktgenerator stellt der externe Quarz immer noch ein Problem dar. Er nimmt wertvollen Platz auf der Leiterplatte ein – selbst wenn ein Gehäuse mit kleinem Formfaktor verwendet wird. Da heutige Takt-ICs in den GHz-Bereich reichen, weist die kurze PCB-Verbindung zwischen Quarz und Taktgenerator-IC hohes Störpotenzial und EMI/EMV-Anfälligkeit auf, was den Taktausgang



**Die ULPO-Typen sind im Temperaturbereich von -40 bis 85 °C lieferbar und verfügen über einen Standby-Pin**

mit zusätzlichem Jitter, Bitversatz und Verzerrungen belegen kann.“ [1] Letztendlich hängt die Leistungsfähigkeit einer solchen Taktlösung vom PCB-Layout und von der Last ab. Die Lösung sind programmierbare

Takt-ICs mit integriertem Quarz, wie etwa die programmierbare FemtoClock NG Crystal Oscillator Family von IDT. Hier sind integrierte Quarze mit 20, 50 oder 100ppm möglich. **FS**

## Wichtige Hinweise für die Praxis

- Wählen Sie einen Quarz mit einem geringen R (üblicherweise als Effective Series Resistance, ESR bezeichnet), um Anlaufprobleme zu vermeiden. Ein geringer ESR bedeutet hohe Schleifenverstärkung.
- 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 Temperatur- und 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. Es empfiehlt sich, modernere bis modernste Quarze zu verwenden.