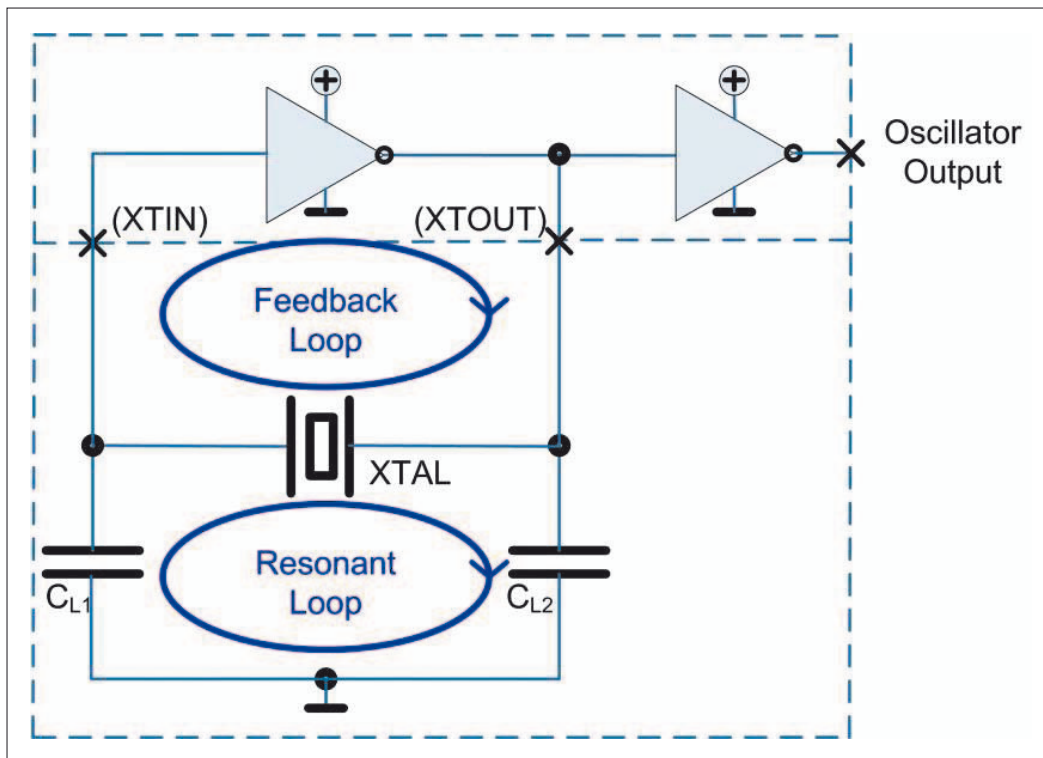


Quarze für das Internet of Things

Meist erfolgt die IoT-Netzwerkkommunikation drahtlos, wobei es aktuell noch verschiedene konkurrierende Standards gibt. Unabhängig davon spielt auch die Auswahl des Quarzes für den Referenzoszillator eine Rolle, wenn es um die Qualität der drahtlosen Kommunikation geht.



Welche Standards stehen zur Wahl?

Im Folgenden sind die für IoT- und andere moderne Applikationen infrage kommenden Standards aufgelistet:

- BT, Bluetooth
- BLE, Bluetooth Low Energy (auch Bluetooth Smart)
- IEEE 802.15.4 (IEEE-Standard für Lowrate Wireless Networks)
- IEEE 802.11 b/g/n (Wireless LAN Medium Access Control, MAC)
- LoRa, Long Range (low data rate) für das IoT zur proprietären Modulation von HF
- SigFox (bietet drahtlose Services für das IoT an und erlaubt proprietäre Modulation)
- ISO/IEC 14443 für Identification Cards (kontaktlos, RFID)
- ISO/IEC 15693 für Identification Cards (kontaktlos, Vicinity Cards, RFID)
- ISO/IEC 18000 Informationstechnologie für RFID

- ZigBee auf Basis von IEEE 802.15.4
- 6LowPan = IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks basierend auf IEEE 802.15.4

genannten und andere Verfahren arbeiten.

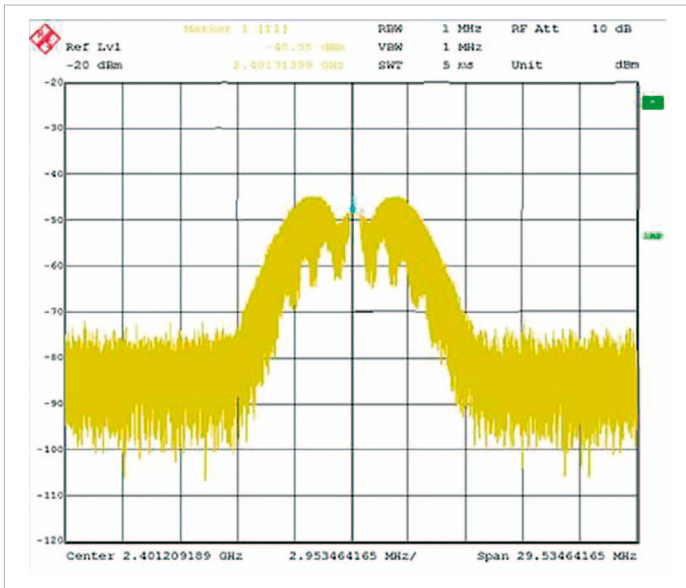
Je nach Systemarchitektur enthalten die ASICs (Application Specific ICs) die HF-Funktion für Senden und Empfangen von drahtlos übermittelten Informationen oder sie kombinieren MCU- und HF-Funktion in

In Tabelle 1 sind die Frequenzen genannt, auf deren Basis die

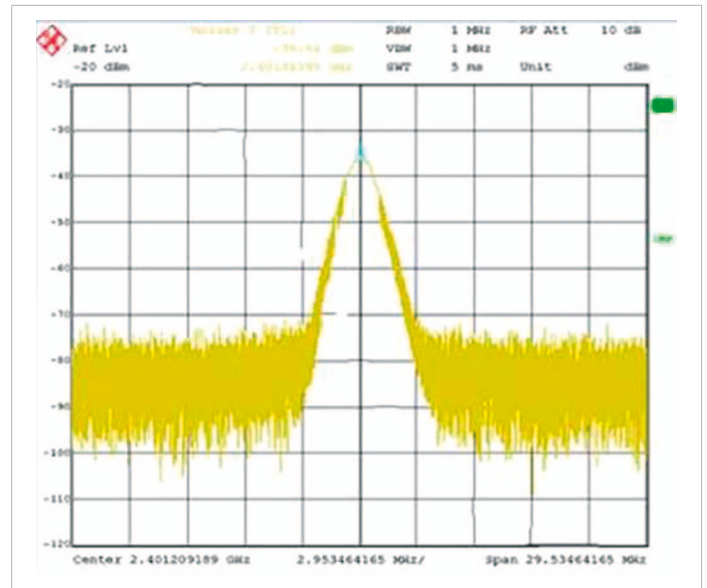
Frequenz in MHz	Drahtlos-Standard
13,56	RFID
16	WiFi, ZigBee, BT, BLE
19,2	DECT, GPS, BLE
20	WiFi, BT
24	WiFi, BT, BLE
25	ISM
26	WLAN, WiFi, BT, BLE, GSM, NFC
27,12	RFID
30	ISM
32	ZigBee, BT, BLE, 6LowPan, RF4CE, LoRa
37,4	WiFi, BT
38,4	DECT, WiFi, BT
40	WiFi, BT, BLE, NFC, SimpleLink
48	WiFi, BT
52	WLAN, WiFi, GSM

FS unter Nutzung folgender Quelle:

Jauch crystals for IoT applications, Jauch Quartz GmbH, info@jauch.com, www.jauch.com



Schlechtes Spektrum bei 2,4 GHz, verursacht durch „Spurious“-Resonanzen mit dem Standardquarz her



Gutes Spektrum bei 2,4 GHz mit einem Jauch-Quarz für Drahtlos-Anwendungen

einem Gehäuse. Üblicherweise nennt man diese ASICs RF-SoC (Radio Frequency System on Chip). Die HF-Funktion erfordert einen Referenztakt im Megahertzbereich, sodass die RF-SoCs praktisch einen Tuning-Fork-Quarz (abstimmbare Gabel als Grundstruktur, TF Crystal) benötigen. Dieser TF Crystal kann für die Standby- oder Timekeeping-Funktion von der MCU als Teil eines SoC genutzt werden. Je nach zu unterstütztem Standard wird der Quarz gemäß Tabelle I ausgewählt.

Anforderungen an den Quarz

Um gegenseitige Beeinflussungen zu unterbinden und die maximal mögliche Übertragungsentfernung zu sichern, ist die Über-alles-Frequenzgenauigkeit auf einige Zehntel eines Pats per Million (ppm) relativ zur spezifizierten HF limitiert.

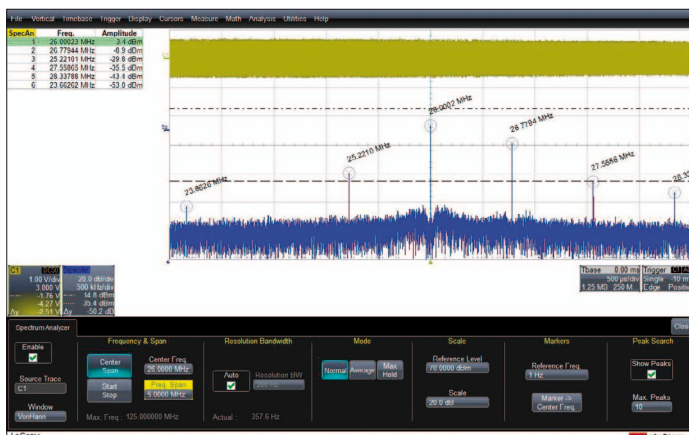
Die meisten HF-Empfänger oder -Sender verwenden typischerweise Quarze mit AT-Schnitt mit Grundfrequenzen im Bereich 13,56 bis 52 MHz zur Herstellung ihrer Referenz. Diese ist dann die Basis, um für das eigentliche Signal Frequenzen

von einigen hundert Megahertz oder gar im Gigahertzbereich zu generieren. Da sich die absolute Toleranz dabei um den Vervielfachungsfaktor erhöht, sind die strengen Anforderungen beim Quarz nötig. Weiterhin sollte das Signal der Quarzreferenz frei von Neben- und Oberwellen („Spurious“) sein, damit es nicht zu unerwünschten Aussendungen auf den entsprechenden Frequenzen kommt.

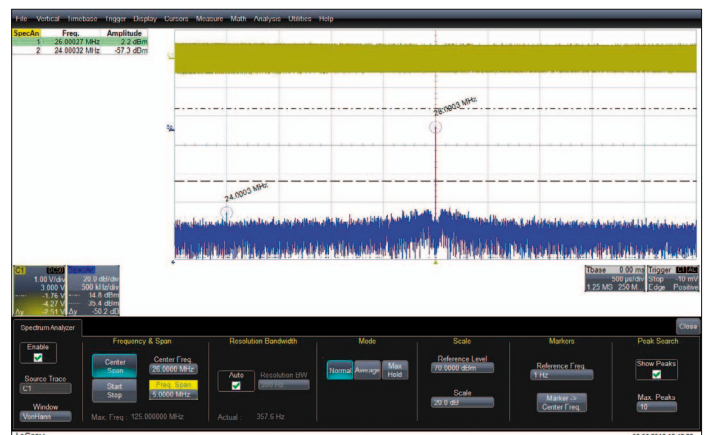
Man kann verschiedene, den aktuellen Standards entsprechende, Gesamt-ppm-Budgets geltend machen. Manche Standards begnügen sich mit 40 ppm, während andere 20 ppm verlan-

gen. Gesamt-ppm-Budget meint Einhaltung dieser Vorgaben unter allen Bedingungen, also im gesamten Betriebstemperaturbereich, inklusive Alterung und Belastung des Ausgangs. Einige RF-ASICs oder RF-SoCs erlauben eine Kompensation der Frequenztoleranz bei 25 °C und der Frequenzveränderung durch die Lastkapazität (Pulling). Dabei kann ein Feintuning des Frequenzsynthesizers ebenso möglich sein wie eine Abstimmung über eine eingebaute Lastkapazität.

Beispiel Q 26,0-JXS32-CL-10/13-T(-30/+85)-FU-WA-LF:



Schlechtes Referenzsignalspektrum eines 26-MHz-Standardquarzes



Gutes Referenzsignalspektrum eines 26-MHz-Jauch-Quarzes für wireless Applications

Frequenztoleranz @ 25 °C max.
10 ppm, kompensiert 2 ppm

Frequenzverschiebung durch
 C_L -Toleranz 10 ppm, kompensiert bis 0 ppm

Frequenzstabilität (F/T) im Betriebs-
temperaturbereich -30 bis +85 °C 13 ppm

Alterung im ersten Jahr 1 ppm

Alterung nach sieben Jahren
5 ppm

Über-alles-Frequenzvariation
nach 7 Jahren 38 ppm, kompensiert 20 ppm

Somit kann hier ein 20-ppm-Limit nicht erreicht werden, während ein 40-ppm-Budget möglich ist. Sowohl Frequenzstabilität (F/T) als auch Langzeitalterung lassen sich vom Hersteller nicht kompensieren. Daher strebt dieser hier besonders enge Toleranzgrenzen an.

Das Über-alles-ppm-Budget kann von Signalfrequenz (HF)

und Übertragungsbandbreite abhängen.

„Spurious“ vorbeugen

Das Referenzsignal für RF-ASICs und RF-SoCs sollte „sauber“, also frei von anderen Frequenzanteilen sein. Auch sollte es nicht zu Resonanzen (auf anderen Frequenzen) kommen. Die diesbezügliche Qualität kann man durch eine Spektrumanalyse überprüfen. Die Bilder zeigen einige Spektrumanalyse-Plots, die den Unterschied zwischen einem HF-Signal von einem dedizierten Jauch-Quarz für Drahtlos-Applikationen (JXS-WA) und einem Quarz mit Standard-Spezifikation verdeutlichen. Schlechtes Spektrum bei 2,4 GHz rührt von „Spurious“-Resonanzen mit dem Standardquarz her.

Die meisten RF-ASICs und RF-SOCs nutzen beim Quarzoszil-

lator einen integrierten invertierenden Verstärker, dem zwei externe Kapazitäten C_{L1} und C_{L2} zuzuschalten sind. Dies ist die typische Pierce-Konfiguration. Ein zusätzlicher Rückkopplungswiderstand ist hier möglich, um den Arbeitspunkt zu stabilisieren. Hält das Datenblatt des RF-ASICs mindestens zwei der folgenden Informationen bereit, dann lässt sich der Oszillator berechnen:

g_m = Transkonduktanz des Verstärkers in mA/V oder μ A/V

$g_{m\text{crit}}$ = Limit des Transkonduktanzwerts für sichere Oszillation in mA/V oder μ A/V

$$GM = g_m / g_{m\text{crit}}$$

GM steht für Gain Margin (auch bekannt als OSF = Oscillation Safety Factor oder Oscillation Allowance). Die GM sollte >5 sein, um eine saubere Operation der Schaltung zu gewährleisten. Mit einem inneren Widerstand

leistet der Quarz über die $G_{m\text{crit}}$ einen Anteil an der GM:

$$g_{m\text{crit}} = 4 \times R_m \times (6,28 f)^2 \times (C_0 + C_L)^2$$

R_m = Motional Series Resistance (auch Equivalent Serial Resistance, ESR, genannt)

C_0 = Shunt-Kapazität des Quarzes

C_L = Lastkapazität, gebildet durch die beiden genannten Kapazitäten der Pierce-Konfiguration

Da g_m nicht verändert werden kann, lässt sich die GM nur über die $g_{m\text{crit}}$ verändert, diese sollte recht klein sein, sodass diese Forderung auch an den R_m sowie C_0 des Quarzes zu stellen ist. In kleinen Quarzen wie Jauch JXS32, JXS22 und JXS21 für drahtlose Applikationen ist C_0 <1,3 pF. Jauch bietet weiter mit der JXS-WA-Quarzserie geringste R_m -Werte. ◀