

Uhrenquarze/Stimmgabelquarze

So >>ticken<< sie auch im erweiterten Temperaturbereich

Wenn Uhrenquarze in erweiterten Temperaturbereichen wie -40 °C bis $+85\text{ °C}$ genau arbeiten sollen, beispielsweise in Autos, so sind beim Design einige wichtige Punkte zu beachten.

In der Zeit der immer stärker vernetzten Applikationen, z. B. im IoT-Bereich, und des Wandels in der Automotive-Branche fordern immer mehr Anwendungen und Anwender auch für Uhrenquarze erweiterte Temperaturbereiche. Während heute -40 °C bis $+85\text{ °C}$ bereits Standard ist, sind Anforderungen für 105 °C und sogar 125 °C keine Seltenheit mehr. Wenngleich diese Temperaturen für die reine Funktion eines Quarzes normalerweise kein Problem darstellen, so ist im Hinblick auf Designs mit Uhrenquarzen beziehungsweise Stimmgabelquarzen besondere Aufmerksamkeit angebracht. Automotive-Applikationen etwa erfordern eine sehr hohe Genauigkeit, was sich im erweiterten Temperaturbereich zu einer Herausforderung für die Hersteller der Stimmgabelquarze erweist.

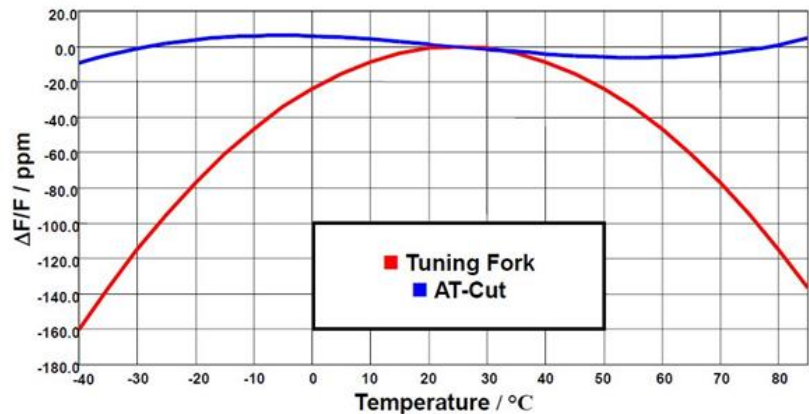


Bild 1: Vergleich von Quarzen mit AT-Schnitt und Stimmgabel-Quarzen (prinzipieller Kurvenverlauf)

Man erkennt, dass Betriebstemperaturen, die bei Quarzen mit AT-Schnitt (der häufigste Quarzschnitt) noch keine Rolle spielen, bei Stimmgabelquarzen schnell in Bereiche großer Abweichungen führen können. Die thermischen Eigenheiten des Stimmgabelquarzes werden oft beim Design übersehen oder ungenügend bedacht, führen zu Fehlfunktion der Applikation und zu Unmut beim Anwender. Dem Quarz wird dann fälschlicherweise eine schlechte Qualität zugeschrieben, obwohl er die im Datenblatt vorgegebenen Spezifikationen vollumfänglich erfüllt.

GRUNDLAGEN

Der Temperaturgang (Frequenzabweichung über der Temperatur) eines Stimmgabelquarzes wird durch folgende Formel beschrieben:

$$\text{Abweichung [ppm]} = -\text{PC [ppm/°C}^2] \cdot (T - T_0)^2 \pm 10\%$$

Im Koordinatensystem entspricht dies einer nach unten geöffneten Parabel mit Scheitelpunkt bei $T_0 = 25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Bezugstemperatur), wie in Bild 2 zu erkennen ist. Der Faktor PC (Parabolic Coefficient), hier beispielhaft $-0,035$, ist im Datenblatt angegeben und stellt das Maß für die »Steilheit« der Parabel dar. Es ist der wichtigste Parameter für das Temperaturverhalten des Uhrenquarzes. Auch dieser Parameter ist toleranzbehaltet, z. B. $\pm 10\%$.

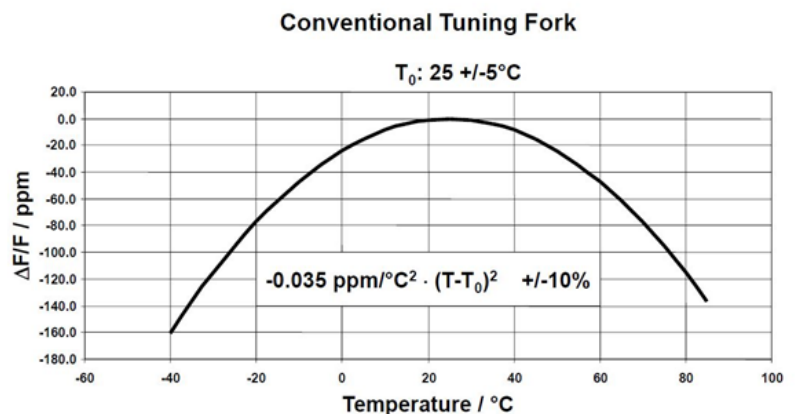


Bild 2: Der Temperaturgang (Frequenzabweichung über der Temperatur) eines Stimmgabelquarzes wird durch die Formel $\text{Abweichung [ppm]} = -\text{PC [ppm/°C}^2] \cdot (T - T_0)^2$ beschrieben, die im Koordinatensystem einer nach unten geöffneten Parabel mit Scheitelpunkt bei $T_0 = +25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (Bezugstemperatur) entspricht.

AUSWIRKUNGEN

Es ist zu sehen, dass der Quarz immer nachgeht, sobald man im Betrieb von der Referenztemperatur abweicht, und zwar umso stärker, je weiter man sich von 25 °C entfernt. Das sind bei +125 °C in diesem Fall typisch –350 ppm; bei Einbeziehung aller Toleranzen (z. B. der Lastkapazitäten) kann es deutlich mehr werden.

Das mag bei Anwendungen, wo ein Uhrenquarz nur einen Controller im Stand-by am Leben hält, keine Rolle spielen. Ist die Anwendung jedoch auf eine genaue Zeitbasis bzw. RTC (Real Time Clock) angewiesen, so können sich auch kleinste Zeitfehler übers Jahr gewaltig addieren. Etliche zehn Minuten sind keine Seltenheit!

Die Wahl eines Quarzes mit größerer Genauigkeit bringt im Allgemeinen nicht den gewünschten Erfolg, da sich die Angabe der Grundgenauigkeit auf +25 °C bezieht. Der prinzipielle Kurvenverlauf ändert sich also nicht.

Eine Lösung per Hardware, z. B. ein Abgleich der Schaltung mittels angepasster Lastkapazitäten bzw. »Ausmitteln« der Temperaturkurve, ist nur in einem engen Temperaturbereich (z. B. Armbanduhr) erfolgversprechend.

Bei Anwendungen, die von einer genauen Zeitbasis abhängen bzw. ein genaues Timing über längere Zeit benötigen (z. B. Metering/Verbrauchserfassung), ist es unerlässlich, die typische Temperaturkurve per Software zu kompensieren und zugleich die Uhrzeit in regelmäßigen Abständen mit einem wie auch immer gearteten Master (Datensammler, Funkuhr, Mensch) zu synchronisieren. Nur dann ist eine korrekte und zuverlässige Funktion der Applikation gewährleistet.

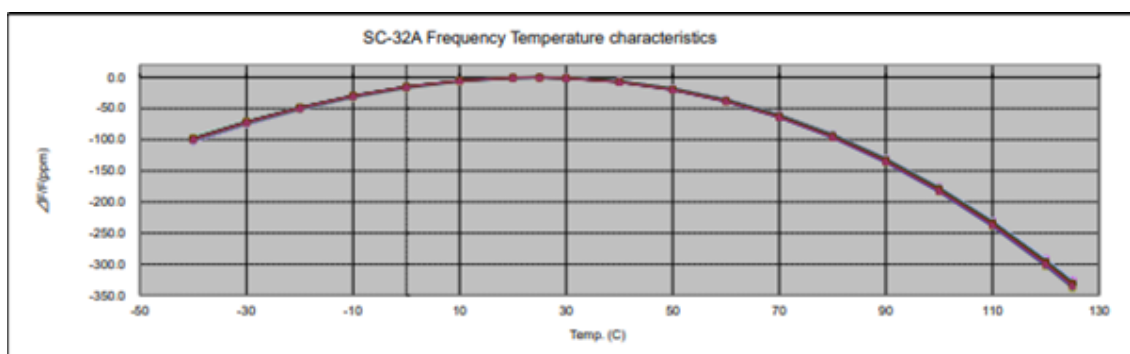
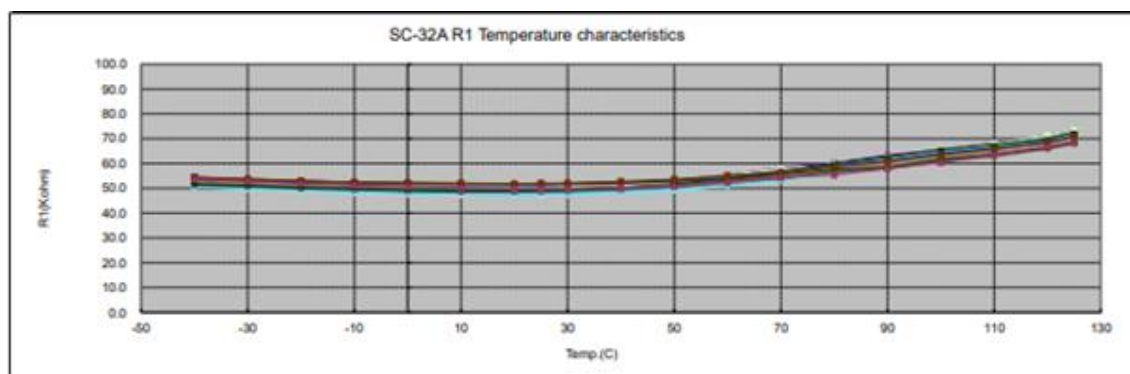


Bild 3 zeigt den Temperaturverlauf eines gemessenen Uhrenquarzes, mit $PC = (0,3 \pm 10 \%) \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$, wo das beschriebene Verhalten nochmals deutlicher wird als in der theoretischen Kurve



Aus Bild 4 ist zu ersehen, dass der Resonanzwiderstand (ESR) mit steigender Temperatur leicht ansteigt, was den Anspruch an einen Uhrenquarz mit niedrigem ESR bei erweitertem

UHRENQUARZE MIT UNTERSCHIEDLICHEN LASTKAPAZITÄTEN

Um die Vorteile von Quarzen mit niedriger Lastkapazität zu ermitteln, wurden zwei Uhrenquarze mit 12,5 pF bzw. 7 pF verglichen. Als Oszillator-IC diente ein 74HCU04. Es ergaben sich Vorteile für den Quarz mit niedriger Lastkapazität wie in Tabelle 1 gezeigt.

| Testkriterium | CL = 12,5 pF | CL = 7 pF |
|------------------|--------------|-------------------|
| Oszillatorstrom | 3,8 uA | 3,4 uA (geringer) |
| Anschwingreserve | 6 | 13 (besser) |
| Anschwingzeit | 1,1 s | 0,6 s (kürzer) |
| Drive level | 2,5 uW | 1,2 uW (geringer) |

Hinweis: Der komplette Bericht kann auf der GEYER Webseite eingesehen werden.

Ein Nachteil soll jedoch nicht verschwiegen werden: Aufgrund der niedrigen Lastkapazität ist die Oszillatorschaltung mit dem 7-pF-Quarz empfindlicher gegenüber Bauteiltoleranzen der Beschaltung.

ANSPRUCHSVOLLE APPLIKATIONEN UND TRENDS

Die Applikationen aber, die den größten und häufigsten Temperaturschwankungen innerhalb kürzester Zeit ausgesetzt sind, sind im Automotive-Bereich zu finden. Die entsprechenden Komponenten werden speziell mit mehreren Kontaktpunkten (Attachment Points) angefertigt und AEC-Q200-zertifiziert, sodass sie unter Vibrations- und Schockbedingungen standhalten. GEYER Electronic hat sich sehr früh mit den stringenten Anforderungen der Automotive-Branche auseinandergesetzt und bietet schon seit Jahren Uhrenquarze auch für diesen Marktsektor an.

Der Trend in der Industrie geht auch bei den Uhrenquarzen zunehmend zu kleineren Gehäusen, was natürlich eine weitere Herausforderung für Quarzleistung (Drive Level) und Resonanzwiderstand darstellt.

Während eine kleinere Bauform eine kleinere Quarzbelastbarkeit (Drive Level) und einen höheren Resonanzwiderstand bedingt, ändert sich das Temperaturverhalten im Zuge der Miniaturisierung nicht. Es bleibt nach wie vor eine technisch anspruchsvolle Herausforderung für die Hersteller und für die Anwender, weil manche Applikationen genau das Gegenteil erfordern. Thermostate mit eingebauten Radiatoren, Solarinverter und ähnliche Produktgruppen verlangen ebenfalls nach kleineren Uhrenquarzen bei niedrigerem Lastwiderstand.

Bei höheren Anforderungen an die Temperaturstabilität bietet GEYER Electronic als Alternative temperaturkompensierte 32-kHz-Oszillatoren an, z. B. 20 oder 10 ppm im industriellen Temperaturbereich in den Bauformen KXO-V32T (3,2 mm × 1,5 mm) bzw. KXO-V93T (1,6 mm × 1,2 mm).

ALTERNATIVEN ZU UHRENQUARZEN

| Temperatur | Quarz | Oszillator |
|------------|----------|------------|
| -40 °C | -160 ppm | +4 ppm |
| +25 °C | 0 ppm | -2 ppm |
| +85 °C | -140 ppm | +7 ppm |

Typische Werte am Beispiel eines KXO-V32T

Man kann aus Tabelle 2 erkennen (hier z. B. KXO-V32T), dass ein alternativer Quarzoszillator bei einer Stromaufnahme von nur 1 µA eine wesentlich geringere Frequenzabweichung über den Temperatur- und Betriebsspannungsbereich als ein Uhrenquarz aufweist und somit für manche Applikationen die bessere Wahl sein kann.

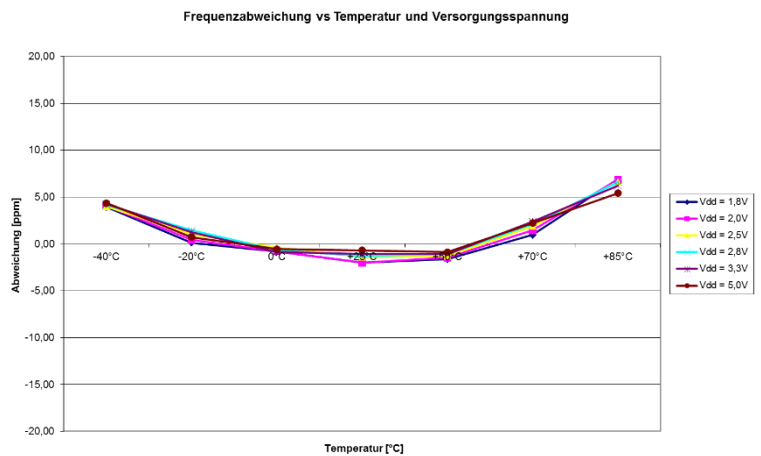


Bild 5: Frequenzabweichung vs. Temperatur und Versorgungsspannung

FAZIT

In den letzten paar Jahren, in denen der Halbleiterbereich besonderen Herausforderungen unterschiedlicher Natur unterlag und sich erst langsam erholt, standen die Uhren nicht still – die rasante Entwicklung im Konsumgüterbereich, in der IoT- und Daten-Welt und vor allem in der Automotive-Industrie haben die technischen und logistischen Anforderungen auch bei den Uhrenquarzen hochgeschraubt. GEYER Electronic hat diese Anforderungen sehr früh auch in die Produktion von Uhrenquarzen eingebracht.