

Miniatur Quarztemperatursensoren für hochauflösende Temperaturmessungen

Im Gegensatz zu "normalen" Schwingquarzen sind Temperatursensorquarze (Temperaturmessquarze) so dimensioniert, dass sie einen möglichst starken und monotonen Temperaturgang der Resonanzfrequenz aufweisen. Temperatursensorquarze gibt es als Dickscherschwinger, zum Beispiel als Y- oder Y+4°-Schnitt mit einem Temperaturkoeffizienten von etwa 90ppm/K oder als doppelgedrehter sogenannter LC-Schnitt mit einem sehr linearen Temperaturgang von ca. 40ppm/K. Diese Quarze sind relativ groß (Baugröße HC-49/U oder HC-52/U bzw. HC-35/U) und haben eine verhältnismäßig lange thermische Zeitkonstante.

Wesentlich kleiner sind Stimmgabelquarze in einem speziellen Schnitt, die wie die sogenannten „Uhrenquarze“ in einem zylindrischen Gehäuse mit 2 mm Durchmesser und 6.1 mm Länge angeboten werden. Als Beispiel sei der Typ RKT206 von Axtal [1] angeführt. Sein Frequenzbereich liegt zwischen 32 kHz und 36 kHz, und der Temperaturkoeffizient bei 25 °C beträgt -52ppm/K. Er kann entweder alleine oder in Verbindung mit dem Referenzquarz RKO206 betrieben werden. Wenn die Frequenzen beider Quarze gemischt werden, ist der Temperaturkoeffizient der Differenzfrequenz von ca. 500 Hz um ein Vielfaches vergrößert.

Das Gehäuse ist in der Standardausführung mit einem Hochtemperaturlot verschlossen, für Hochtemperaturanwendungen ist es lasergeschweißt. Die wesentlichen Eigenschaften des RKT206 sind:

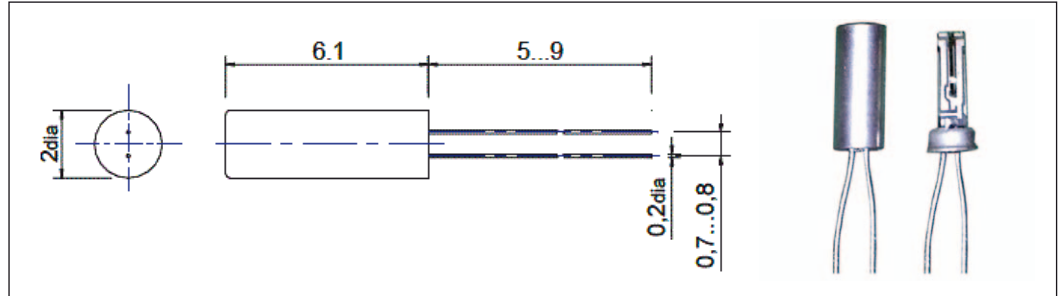


Bild 1: Gehäuse RKT206 und RKO206

- Ein weiter Temperaturbereich von -50 °C bis +180 °C (Standard), optional bis +320 °C
- Hohe Temporauflösung bis in den µK-Bereich
- Kurze Zeitkonstante aufgrund der niedrigen thermischen Masse
- Hohe Schock- und Vibrationsfestigkeit
- Kleine Baugröße

Typische Anwendungen sind in elektronischen Präzisionsthermometer, in Temperaturreglern und in Temperatur/Frequenz-Konvertern zu finden. Der Vorteil gegenüber anderen Temperatursensoren ist, dass die Temperaturinformation als ein digital verwertbares Signal (Frequenz) vorliegt, das direkt von einem Mikroprozessor verarbeitet (ausgezählt) werden kann.

Frequenz- Temperatur-Charakteristik

Temperatursensorquarz RKT206

Der Temperatursensorquarz RKT206 zeigt einen monotonen Verlauf der Resonanzfrequenz in Abhängigkeit von der Temperatur, siehe Bild 2, blaue unterbrochene Linie.

Die Kurve kann durch die Gleichung

$$f_T(T) = f_0 + a_1 * (T - T_0) + a_2 * (T - T_0)^2$$

beschrieben werden, wobei

f_T = Resonanzfrequenz bei Temperatur T (in °C)

f_0 = Resonanzfrequenz bei Referenztemperatur T_0 , (hier 32720 Hz @ 0 °C)

T_0 = Referenztemperatur
 $T_0 = 0$ °C

$$a_1 = (-1.76 \pm 0.1) \text{ Hz/K}$$

$$a_2 = (-0.00310 \pm 0.0001) \text{ Hz/K}^2$$

Für höhere Genauigkeit über einen weiteren Temperaturbereich wird empfohlen, die Kurve durch ein Polynom 3. Ordnung zu approximieren:

$$f_T(T) = f_0 + a_1 * (T - T_0) + a_2 * (T - T_0)^2 + a_3 * (T - T_0)^3$$

Referenzquarz RKO206

Der Referenzquarz RKO206 ist ein Stimmgabelquarz, dessen Frequenz im Vergleich zum RKT206 nur eine kleine Temperaturabhängigkeit aufweist. Die $f(T)$ -Kurve ist in Bild 2 als magentafarbene gestrichelte Linie eingezeichnet. Sie kann durch die Gleichung

$$f_{ref}(T) = f_{0ref} + a_2 * (T - T_0)^2$$

beschrieben werden, wobei

f_{ref} = Resonanzfrequenz bei Temperatur T (in °C)

f_{0ref} = Resonanzfrequenz bei Referenztemperatur T_0 , (hier 33225 Hz @ 25°C)

T_0 = Referenztemperatur
 $T_0 = (25 \pm 5)$ °C

$$a_2 = (-0.00120 \pm 0.0001) \text{ Hz/K}^2$$

Differenzfrequenz

Wenn der Sensorquarz RKT206 in Kombination mit dem Referenzquarz RKO206 verwendet werden soll, dann werden diese meist paarweise so ausgewählt, dass die Frequenzdifferenz bei 25°C ca. 550 Hz beträgt. Damit ist ausgeschlossen, dass sich die

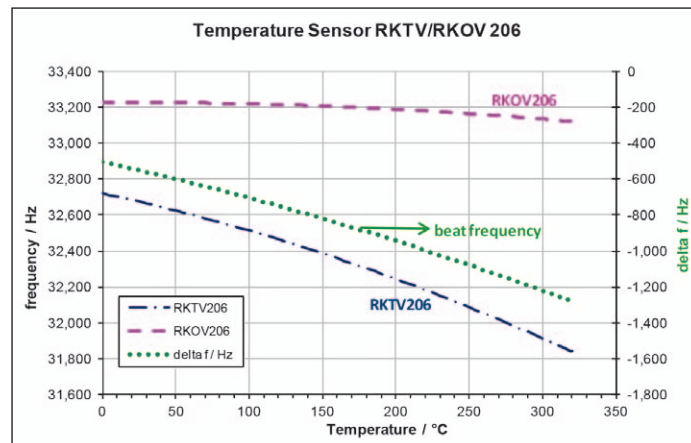


Bild 2: Frequenz-Temperatur-Kurven des RKT206 und des RKO206

Bernd Neubig, Dipl.-Phys.,
Dipl.-Ing.
AXTAL GmbH & Co. KG
www.AXTAL.com

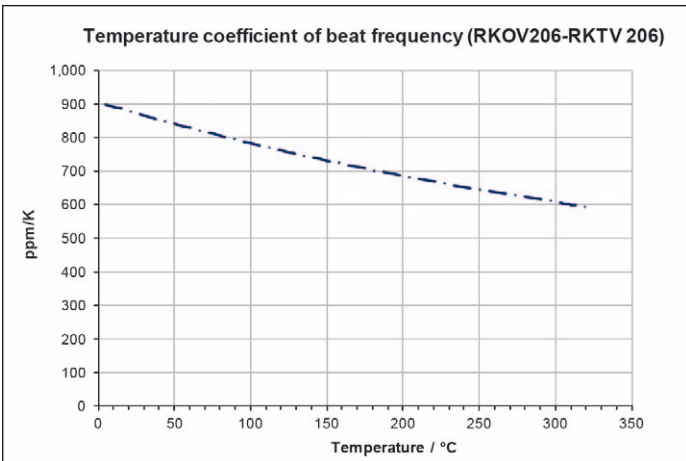


Bild 3: Temperaturkoeffizient der Differenzfrequenz von RKTV und RKOV

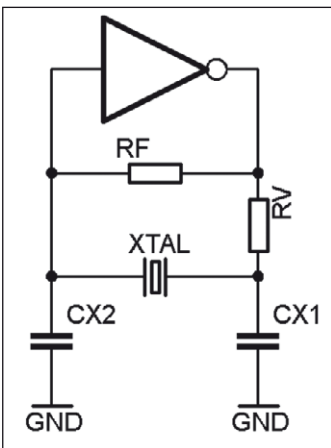


Bild 4: Pierce-Oszillatorschaltung

beiden Frequenzen im Temperaturbereich überkreuzen.

Werden beide Quarze der gleichen Temperatur ausgesetzt, dann ergibt sich zwischen ihnen eine resultierende Frequenzdifferenz, wie in der grünen gestrichelten Linie in Bild 2

dargestellt. Den Verlauf des Temperaturkoeffizienten dieser Differenzfrequenz zeigt Bild 3. Er ist in diesem Beispiel 15mal größer als der TK(25 °C) des RKTV206 alleine

Praktische Anwendung

Beide Quarze werden in separaten Oszillatoren betrieben. Zwei Oszillatorschaltungen können dafür empfohlen werden, die „Pierce“-Schaltung mit einem Logikinverter und die „Heegner“-Schaltung mit zwei hintereinander geschalteten Invertern [2].

Pierce-Oszillatorschaltung

Die Grundschaltung zeigt Bild 4. Der Widerstand RF wird zur Linearisierung der Übertragungskennlinie des Inverters benötigt. Sein typischer Wert liegt bei 1 ~ 10 MΩ für HCMOS-Gatter. Der Serienwiderstand RV ist notwendig,

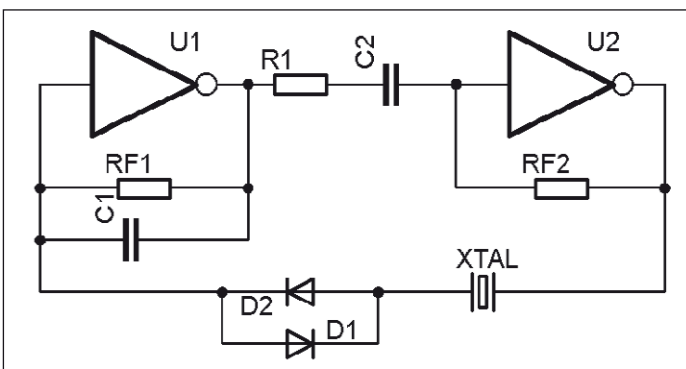


Bild 5: Zwei-Inverter-Heegner-Schaltung

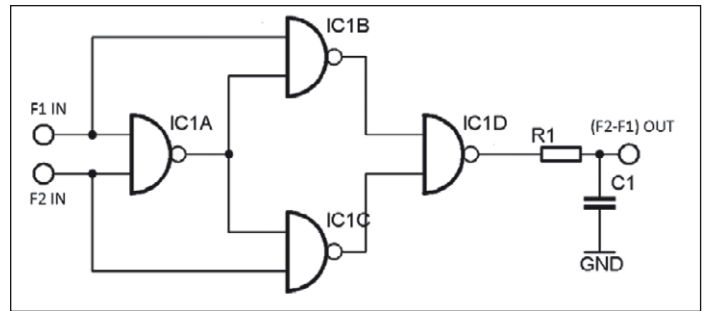


Bild 6: Digitaler Mischer mit vier NAND-Gattern

um den Quarz vor Überlastung durch zu hohen Quarzstrom (max. 1 μA) zu schützen, was zu einer permanenten Beschädigung des Quarzes führen könnte. Sein Wert liegt zwischen 47 kΩ und 470 kΩ. Da dieser Widerstand die Schleifenverstärkung reduziert, muss sein Wert sorgfältig ausgewählt werden. Die beiden Kondensatoren CX1 und CX2 liegen im Bereich 4.7 pF bis 10 pF. Die Verbindungen zwischen den Quarzanschlüssen und der Oszillatorstufe müssen kurz sein (maximal wenige cm) und sollen eine geringe Streukapazität nach Masse aufweisen.

Zwei-Inverter-Heegner-Schaltung

Diese Schaltung besteht aus zwei in Reihe geschalteten Logikinverter-Gattern. Der Quarz ist zwischen dem Ausgang des zweiten Inverters und dem Eingang des ersten Inverters eingefügt. Die Heegner-Schaltung erlaubt etwas längere Quarz-Zuleitungen als die Pierce-Schaltung. In der in Bild 5 gezeigten praktischen Schaltung sind zusätzliche Bauelemente eingefügt, mit denen eine Überlastung des Quarzes und die Anregung von Nebenresonanzen (Obertönen) verhindert werden.

D1 und D2 sind Schottky-Dioden, wie BAS40-04 oder ähnliche. Für die anderen Bauelemente werden folgende Werte vorgeschlagen:

- RF1 = RF2 = 300 kΩ
- R1 = 5.1 kΩ
- C1 = 10 pF
- C2 = 470 pF

Dies sind nur Richtwerte und müssen je nach verwendeten Logikgattern gegebenenfalls angepasst werden.

Mischerschaltung

Zur Erzeugung der Differenzfrequenz zwischen dem RKTV- und dem RKOV-Oszillator wird ein Mischer eingesetzt. Das Ausgangssignal muss mit einem Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von ca. 2 kHz ausgefiltert werden. Eine einfache digitale Mischerschaltung kann mit einem IC mit vier NAND-Gattern gemäß Bild 6 ausgeführt werden.

Das R1-C1-Tiefpassfilter in der Schaltung ist nur symbolisch zu verstehen, denn mit einem einstufigen Filter wird nicht genügend Dämpfung der unerwünschten Mischprodukte erreicht. Alternativ kann die Mischung auch softwaremäßig im Mikrocontroller erfolgen.

Zusammenfassung

In dem Bericht wird dargestellt, wie mit relativ einfachen Mitteln mit Miniatur-Temperatur-sensorquarzen im kHz-Bereich hochauflösende Temperaturmessungen durchgeführt werden können.

Literaturhinweise

[1] <http://axtal.com/Deutsch/Produkte/Piezosenoren/Temperatursensoren>

[2] Neubig, B, Briese W. Das Große Quarzkochbuch, Kap.6, downloadbar auf <http://axtal.com/Deutsch/TechnInfo/Quarzkochbuch> ◀