

Kennwerte unter der Lupe

VCXOs und ihre kritischen Parameter

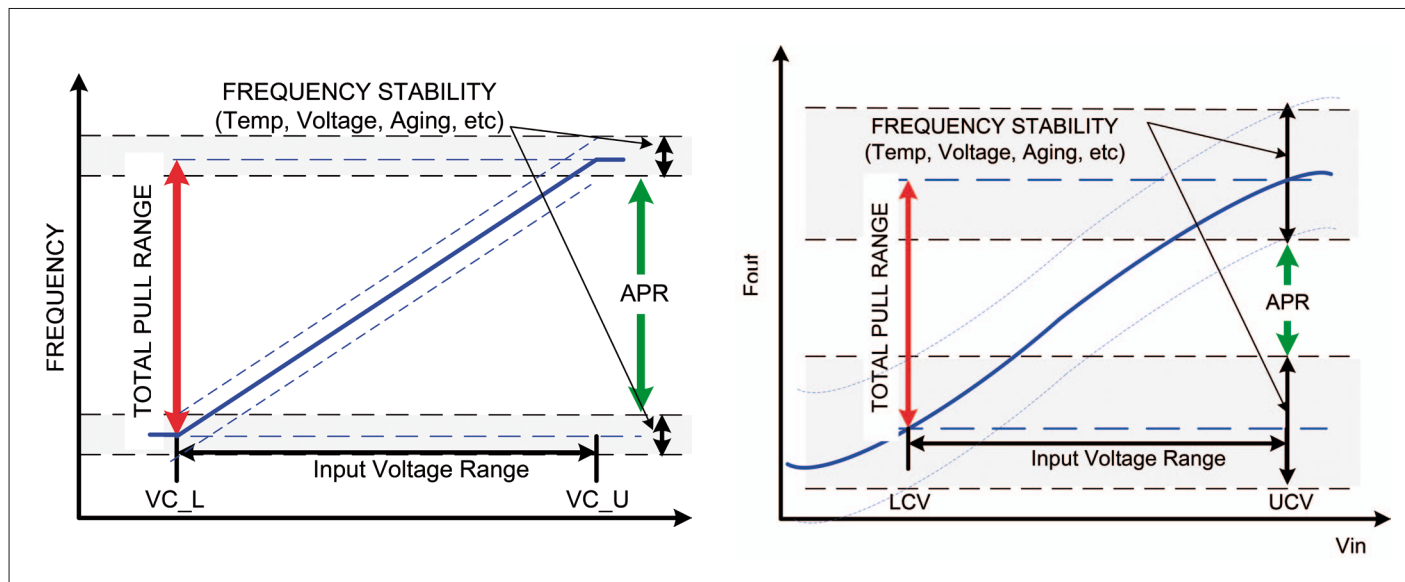


Bild 1: Typische Quarz-VCXO-Linearität

Ein Voltage Controlled Crystal Oscillator (VCXO) nutzt die Tatsache aus, dass ein Quarz nur dann resonant auf seiner spezifizierten Frequenz ist, wenn die Lastkapazität am Oszillatorausgang einen bestimmten Wert aufweist.

Damit einher gehen einige Kennwerte, die man zum Teil nicht auf die leichte Schulter nehmen sollte.

Der Artikel nimmt verschiedene VCXO-Spezifikationen unter die Lupe, bei denen man eventuell zweimal hinschauen sollte, und will damit helfen, Design-Fehler zu vermeiden.

Lastkapazität und Frequenz

Den im Vorspann bemühten „bestimmten Wert“ der Lastkapazität C_L nennt man Bürdekapazität C_{Lnom} . Diese gibt der Hersteller an. Ein üblicher Wert ist 15 pF. Es gilt die Beziehung:

$$ppm = C_m/2 [(1/(C_s+C_L) - (1/(C_s+C_{Lnom})))] 10^6$$

C_m Bewegungskapazität (motional capacitance)

C_s Shunt-Kapazität

C_L Lastkapazität

C_{Lnom} Bürdekapazität (nomineller Wert)

Beim Vergrößern von C_L steigt demnach der Betrag des Frequenzfehlers. Im Falle $C_L > C_{Lnom}$ schwingt der Quarz auf einer

Frequenz unterhalb der Center-Frequenz, im Falle $C_L < C_{Lnom}$ auf einer Frequenz oberhalb dieser. Auf diese Weise lässt sich die Schwingfrequenz normalerweise nur um bis zu etwa 100 parts per million (ppm) verändern. Ein 10-MHz-Quarz könnte um 1 kHz verstimmt werden. In der Praxis werden solche Feineinstellungen aber gewünscht.

Dieses Feature ist im VCXO implementiert. Ein VCXO nutzt in aller Regel eine eingebaute Kapazitätsdiode in Reihe zum Quarz (eine Induktivität wäre theoretisch ebenfalls möglich). Benötigt werden VCXOs etwa in digitalen Settop-Boxen, bei digitalen TV-Applikationen und in Laboranwendungen.

Parameterunterschiede beachten

Bezüglich Frequenzstabilität und Zieh- bzw. Einstellbereich (Total Pull Range, TPR und Absolute Pull Range, APR) können sich VCXOs beträchtlich unterscheiden. Die Frequenzvariation kann je nach Typ nur einen Bruchteil eines parts per million betragen oder bis zu über 1000 ppm. Weitere wesentliche Eigenschaften

eines VCXOs sind die Linearität der Abstimmung, die Frequenzstabilität, das Phasenrauschen und der Ausgangspegel in Abhängigkeit von der Frequenzvariation. Die Linearität der Abstimmung wird als die prozentuale Abweichung vom gesamten Abstimmbereich definiert. Eine Linearität von 3% besagt, dass innerhalb eines Abstimmbereichs von beispielsweise 100 kHz die Frequenzabweichung 3 kHz betragen kann. Diese 3-kHz-Abweichung kann überall im Abstimmbereich auftreten.

Der VCXO CFPV von IQD z. B. ist mit Frequenzen im Bereich 1,5...80 MHz lieferbar und hat einen APR von mindestens ± 100 ppm für eine Steuerspannung von 1,65 V $\pm 1,65$ V. Die Linearität wird mit mindestens $\pm 10\%$ angegeben.

TPR vs. APR

TPR und APR sind verschieden. Die Firma Vectron Technologies verwendet den absoluten Ziehbereich, um den Betrag der Abweichung zu definieren, den ein VCXO über die Mittenfrequenz f_0 erreichen kann. Der APR ist

Unter Nutzung folgender Quellen:

Absolute Pull Range Definition, Anwendungshinweis der Firma Vectron International, www.vectron.com

Definitions of VCXO Specifications, Applikationsreport der Firma SiTime Corporation, www.sitime.com

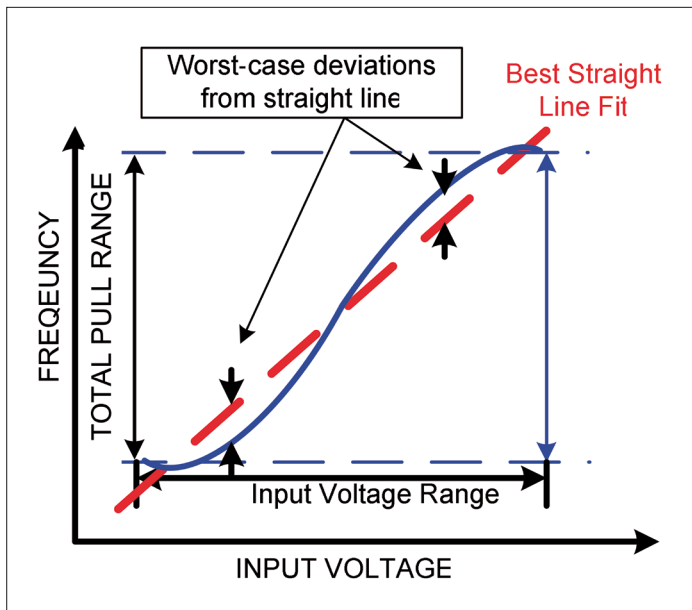


Bild 2: Typische SiTime-VCXO-Linearität

demnach der garantierte Mindestbetrag, um den der VCXO um die Mittenfrequenz f_0 variiert werden kann. Diese Angabe wird über den gesamten Einsatztemperaturbereich, die Alterung, Versorgungs- und Lastschwankungen aufrechterhalten:

APR = Ziehbereich - Verschlechterungen aufgrund von Temperatur, Alterung, Stromversorgung und Last

Für einen VCXO, bei dem der APR dementsprechend angegeben ist, gibt es keine Vermutungen darüber, wie groß die mögliche Frequenzabweichung unter bestimmten Bedingungen ist. Denn der APR ist unter allen Bedingungen verfügbar.

Eine der beliebtesten APR-Optionen ist beispielsweise 50 ppm, was an vierter Stelle durch ein G im Bezeichnungs-Code definiert wird. Ein 16,384 MHz VI VCXO hätte hingegen nicht mehr als 20 ppm Temperaturdrift, 5 ppm Alterung (20 Jahre, 40 °C), 5 ppm aufgrund von Stromversorgungsschwankungen und 4 ppm aufgrund von Lastschwankungen. Eine Anwendung, spezifiziert in Bezug auf Total Pull, müsste mindestens 84 ppm Total Pull haben, um die Spezifikationen zu erfüllen.

Um die APR-Garantie zu bieten, sind Oszillatoren hinsichtlich Temperatur, Alterung und Stromversorgung gut charakterisiert. Man achte auf mögliche Variationen von Typ zu Typ! Jeder VCXO wird bei Vectron International z. B. über der Temperatur auf den Ziehbereich getestet. Dies ist ein vollautomatischer Prozess, bei dem die Oszillatoren kontinuierlich während eines Temperaturzyklus von 0 bis 70 oder -40 bis +85 °C einschließlich Einlaufen getestet werden. Die entsprechenden Daten werden automatisch zur Analyse gespeichert. Auch eine Alterungscharakterisierung wird durchgeführt und korreliert. Variationen aufgrund von Stromversorgung und Last sind ebenfalls gut bekannt.

Der TPR ist nicht an die harten Bedingungen des APR geknüpft. Oszillatoren, die mit einer Total Pull Range spezifiziert sind, können aufgrund eines scheinbar höheren Pull-Bereichs fälschlicherweise überlegen erscheinen. Um jedoch sicherzustellen, dass ein in Bezug auf Total Pull angegebener VCXO den Design-Anforderungen entspricht, muss der Hersteller kontaktiert werden, um Abweichungen aufgrund von Temperatur, Alterung, Stromversorgung und Last zu

definieren. Das sind Einflussvariationen, die dann von dem angegebenen TPR abgezogen werden müssen. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die VCXO-Leistung gleich dem Gesamtziehbereich abzüglich der „Stabilität“ ist, sofern die Stabilität nicht klar definiert wurde - und diese klare Definition ist selten der Fall.

Die Angabe des APR reduziert also den Zeitaufwand für das Definieren und Verstehen von VCXO-Spezifikationen.

Ein Beispiel

In einem digitalen Kommunikationsnetz hat der Quellentakt einen definierten maximalen Fehler von der Mitte der Frequenz über Temperatur, Alterung und Stromversorgungsschwankungen. Dieser Fehler wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt und praktisch von der Anwendung diktiert. Der Empfänger enthält einen VCXO, der in der Lage sein muss, den Quellenfehler zu verfolgen, um bei sich den richtigen Takt wiederherzustellen und/oder auf eine höhere Frequenz umzusetzen.

Ein Stratum-4-Level-Takt zum Beispiel schreibt einen Fehler von 32 ppm unter allen Umgebungsbedingungen vor (Worst-Case). Der VCXO muss also bis 32 ppm auch ziehen können

und zwar ebenfalls unter Worst-Case-Bedingungen. Nach der Definition von Vectron International (APR-Methode) sind hier also mindestens 32 ppm erforderlich, was sehr transparent ist. Die TPR-Methode anderer Hersteller macht die Sache hingegen schwieriger, denn es ist zu hinterfragen, inwiefern hier Temperaturstabilität, Alterung, Versorgungsschwankungen oder Variationen der Ausgangslast hineinspielen. Ein in Bezug auf den APR spezifizierter VCXO mit einem APR von 32 ppm wäre auf Anhieb die richtige Wahl und wird immer in der Lage sein, den Empfänger unter den widrigsten Bedingungen an den Quellentakt zu binden.

Fazit: Der APR ist eine überlegene Methode zur Angabe der Abweichungsfähigkeit eines VCXOs und wird daher immer mehr auch von anderen Lieferanten in der Branche bevorzugt.

Das linke Aufmacherbild (Bild 1) zeigt eine typische SiTime-VCXO-Frequenz-Spannungs-Charakteristik. Die Kurve variiert mit den genannten externen Bedingungen, sodass die Frequenzausgabe bei einer gegebenen Eingangsspannung um so viel variieren kann wie die spezifizierte Frequenzstabilität des VCXOs. Für solche VCXOs sind die Frequenzstabilität und der APR unabhängig

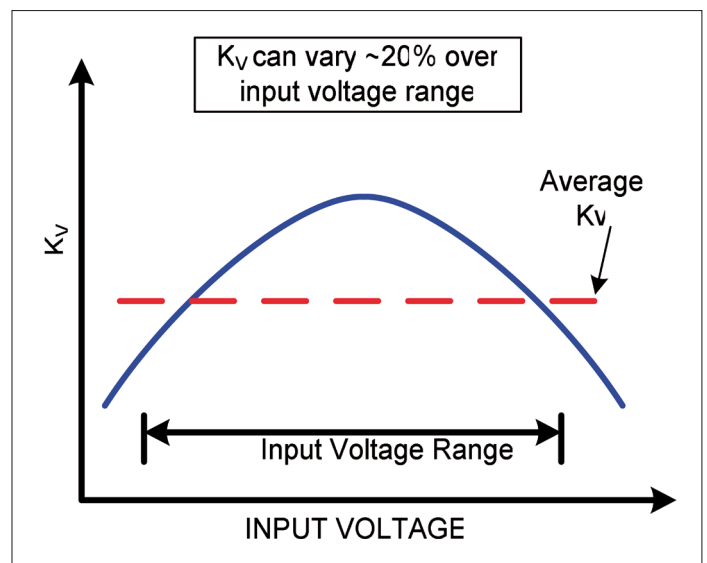


Bild 3 Typische Quarz-VCXO-K_v-Variation

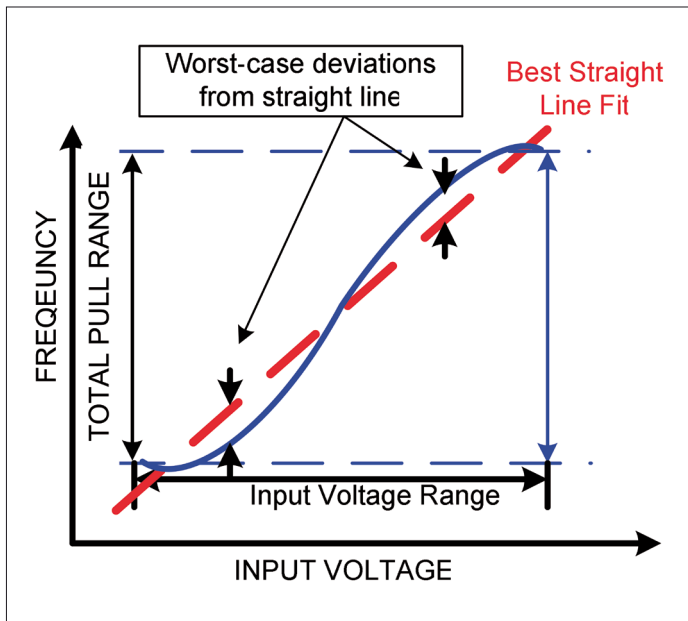


Bild 4: Typische SiTime-VCXO- K_V -Variation

voneinander. Dies ermöglicht eine sehr große Auswahl an Pull-Optionen, ohne Kompromisse einzugehen bei der Frequenzstabilität. Das rechte Aufmacherbild zeigt eine typische VCXO-Frequenz-Spannungs-Kennlinie auf Quarzbasis. Für VCXOs auf Quarzbasis muss man, um einen höheren APR zu erzielen, normalerweise einen Kristall mit niedrigerer Güte (Q) verwenden. Dies hat jedoch auch den Effekt einer Verschlechterung der Frequenzstabilität. Daher muss ein Kompromiss zwischen Frequenzstabilität und TPR/APR geschlossen werden. Man wählt den niedrigsten APR, der den Anforderungen der Anwendung entspricht.

Obere und untere Steuerspannung

Die obere und untere Steuerspannung sind die Grenzen des Aussteuerbereichs. Das Anlegen von Spannungen über die obere und unter die untere Spannung hinaus macht sich bei der Ausgangsfrequenz nicht mehr bemerkbar. Mit anderen Worten: Die Frequenz-Spannungs-Charakteristik des VCXOs ist jenseits dieser Spannungen gesättigt.

Linearität

In jedem VCXO gibt es eine gewisse Abweichung der Frequenz-Spannungs-Charakteristik von einer idealen geraden Linie. Die Linearität ist das Verhältnis dieser maximalen Abweichung zum gesamten Ziehbereich, ausgedrückt in Prozent. Typische VCXOs auf Quarzbasis erreichen die Frequenzsteuerfunktion durch einen Varaktor (Kapazitätsdiode), der führt auf eine gekrümmte Kennlinie (Bild 1). Die Linearitätsspezifikationen für diese Oszillatoren liegen in der Regel im Bereich von 5% bis 10%. Zum Vergleich zeigt Bild 2 die Linearität von VCXOs der 380X-Serie von SiTime. Die Charakteristik ist extrem linear, typischerweise viel kleiner als 1% (Bild 6).

Die Slope K_V

Die Steigung der Frequenz-Spannungs-Charakteristik ist ein kritischer Entwurfsparameter in vielen PLL-Applikationen mit geringer Bandbreite. Die Steigung ist die Ableitung der Frequenz-Spannungs-Kennlinie: Frequenzabweichung geteilt durch die entsprechende Steuerspannungsänderung über einen kleinen Spannungsbereich. Sie wird typischerweise in kHz/V, MHz/V oder ppm/V. Die ent-

sprechende „Piste“ wird normalerweise genannt.

Statt Steigung sagt man oft Slope und verwendet das Symbol K_V , basierend auf der in PLL-Designs verwendeten Terminologie.

Die Slope eines Standard-VCXOs auf Quarzbasis kann im Laufe der Zeit erheblich bezüglich des Steuerspannungsbereichs variieren, typischerweise 10% bis 20%. Einige Datenblätter geben möglicherweise einen Durchschnitts- K_V an. Aber da K_V wichtige PLL-Leistungsparameter wie Bandbreite und Phasenspanne beeinflusst, muss die gesamte K_V -Variation verstanden und im Design berücksichtigt werden. Die Bilder 3 und 4 zeigen typische KV-Eigenschaften quarzbasierter VCXOs und SiTime-VCXOs der 380X-Familie. Die extrem linearen Eigenschaften der SiTime-380X-VCXO-Familie sind erkennbar; über den gesamten Eingangsspannungsbereich gibt es nur eine sehr geringe K_V -Variation (typischerweise <1%). Das bedeutet eine Reduzierung des Design-Aufwands für den PLL-Designer.

Frequenzänderungspolarität

Die Polarität (oder Grundrichtung) der Frequenzänderung gibt an, ob die Steigung der Spannungs-Frequenz-Kennlinie positiv (zunehmende Spannung erhöht die Ausgangsfrequenz) oder negativ (steigende Spannung verringert die Ausgangsfrequenz) ist. Die SiTime-380X-VCXO-Familie bietet eine Option mit positiver Steigung, kundenspezifisch ist auch eine negativer Steigung möglich.

Steuerspannungsbandbreite

Die Steuerspannungs-Bandbreite, nicht zu verwechseln mit dem Steuerspannungsbereich, wird manchmal auch als Modulationsrate oder Modulationsbandbreite bezeichnet. Sie erlaubt eine Aussage darüber, wie schnell die Ausgangsfrequenz einer Änderung der Eingangsspannung folgen kann. Die

Frequenzänderung bezüglich der Eingangsspannungsänderung, die oben mit K_V bezeichnet wurde, hat bei den meisten VCXOs eine Tiefpasscharakteristik. Die Modulationsrate ist definiert als der Punkt, an dem sich K_V um 3 dB gegenüber dem statischen Verhalten reduziert, wenn im gleichen Spannungsbereich gewobelt wird.

Als Beispiel soll hier ein Oszillator mit einem Ziehbereich von ± 150 ppm und einer zugehörigen Steuerspannung von 0 bis 3 V und mit einem durchschnittlichen K_V von 100 ppm/V betrachtet werden. Das Verändern der Eingangsspannung von 1,5 V DC um $\pm 0,5$ V bewirkt also eine Frequenzänderung um ± 50 ppm. Wenn die Steuerspannungs-Bandbreite mit 8 kHz angegeben ist, wird der Spitze-Spitze-Wert der Ausgangsfrequenzänderung um 3 dB auf 100 ppm/1,414 oder 71 ppm reduziert, wenn man die Frequenz der Steuerspannung auf 8 kHz erhöht.

FS

Kunst kaufen – Kindern helfen!

Bekannte Künstler haben exklusiv für die SOS-Kinderdörfer Werke geschaffen.

Mit dem Kauf eines limitierten Kunstwerks auf sos-edition.de unterstützen Sie unsere Projekte.



Tal R. „Banane“, SOS-Edition 2013, Auflage: 50, nummerierte und signierte Radierung, 30 x 40 cm

SOS KINDERDÖRFER WELTWEIT

Berliner Büro
Gierkezeile 38, 10585 Berlin
Tel: 030/3450 6997-0

www.sos-kinderdoerfer.de