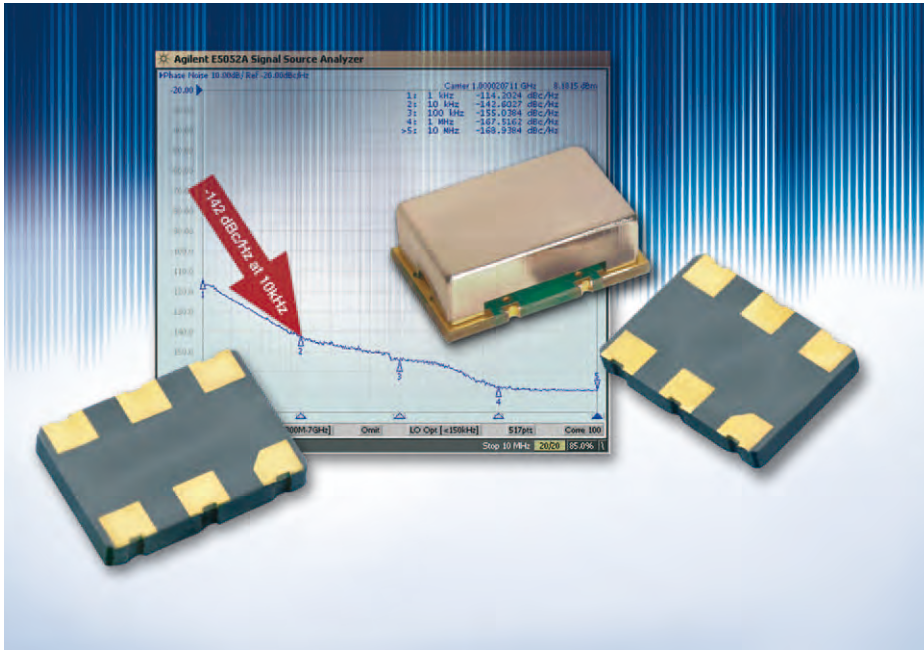


Phasenrauschen und Jitter - die Hauptursachen für Störungen in Oszillatoren



Das Ausgangssignal eines Oszillators enthält, unabhängig wie gut es ist, unerwünschte Rausch- und Störsignale. Typisch hierfür sind beispielsweise unsaubere Ausgangsfrequenzen sowie harmonische bzw. subharmonische Störungen, um nur einige zu nennen. Das Rauschen kann zufällige und/oder deterministische Anteile haben, sowohl im Bereich der Amplitude als auch der Phase des Signals. Dieser Artikel beschäftigt sich mit den Hauptursachen einiger unerwünschter Störsignale.

Jitter und Phasenrauschen sind nicht das Gleiche. So beschreibt Jitter den Rauschanteil eines Oszillators über die Zeitachse, wobei Phasenrauschen über den Frequenz-

bereich definiert wird. In RF-Anwendungen spielt das Phasenrauschen eine wesentliche Rolle, während in Digitalsystemen der Jitter-Wert mehr von Bedeutung ist. Folglich wird ein RF-Entwickler einen Wert für das Phasenrauschen festlegen und der Digitaltechniker eher einen Jitter-Wert spezifizieren. Es ist zu beachten, dass Phasenrauschen und Jitter zwei miteinander verbundene Eigenschaften darstellen, die in Zusammenhang mit einem rauschenden Oszillator stehen, und dass mit zunehmendem Phasenrauschen im Oszillator der Jitter-Effekt im Allgemeinen auch zunimmt. Dieser Zustand lässt sich am Besten anhand eines idealen Signals darstellen, das gestört wird, bis das Signal mit dem echten Ausgangssignal eines Oszillators übereinstimmt.

hen von Amplitudenrauschen in diese Gleichung erhalten wir:

$$V(t) = [A_0 + \varepsilon(t)] \sin(2\pi f_0 t)$$

Gleichung 2

Wobei:

$\varepsilon(t)$ = Zufallsabweichung der Amplitude vom Nenn-, „AM-Rauschen“

Um die Sache noch ein wenig interessanter zu machen, fügen wir eine zufällige Phasenkomponente in Gleichung 2 ein. Nun erhalten wir:

$$V(t) = [A_0 + \varepsilon(t)] \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t)]$$

Gleichung 3

Wobei:

$\Delta\Phi(t)$ = Zufallsabweichung der Amplitude vom Nenn-, „Phasenrauschen“

Die neue Darstellung des Zeit- und Frequenzbereichs zeigt Bild 2 (a und b), während eine Vektordarstellung von Gleichung 3 in Bild 3 (a und b) zu sehen ist.

Es stellt sich heraus, dass Oszillatoren in der Regel auf Amplitudenebene gesättigt sind und wir daher $\varepsilon(t)$ in Gleichung 3 vernachlässigen können. Somit vereinfachen wir die Gleichung wieder zu:

$$V(t) = A_0 \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t)]$$

Gleichung 4

Erweitern wir die Gleichung jetzt durch das Hinzufügen einer deterministischen Komponente. Unsere Gleichung lautet nun:

$$V(t) = A_0 \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)]$$

Gleichung 5

Wobei:
 m_d = die Amplitude des deterministischen Signals darstellt, das den Träger phasenmoduliert,

f_d = die Frequenz des deterministischen Signals darstellt.

Die oben stehende Gleichung 5 kann durch gewöhnliche Trigonometrie nicht vereinfacht werden. Sie kann jedoch als eine Reihe aus Besselfunktionen der ersten Art ausgedrückt werden. Dies ist jedoch für unsere Zwecke nicht von Bedeutung und würde den Rahmen dieser Übung sprengen.

Stellen wir uns nun vor, dass sämtliche Harmonische und ggf. Subharmonische zu dem Signal hinzugefügt werden. Die Gleichung wächst dadurch schnell an, wie folgt:

Autor



Gerd Reinhold ist verantwortlich für das Produktmarketing FCP (Frequency Control Products) bei der WDI AG und seit über 10 Jahren spezialisiert auf Beratung und Design-In-Support im Bereich Quarze & Oszillatoren.

Gerd Reinhold
WDI AG
www.wdi.ag/

Das perfekte bzw. ideale Signal

Das ideale Signal lässt sich mathematisch wie folgt darstellen:

$$V(t) = A_0 \sin(2\pi f_0 t)$$

Gleichung 1

Wobei:

A_0 = Nennspitzenspannung,

f_0 = Nenngrundfrequenz,

t = Zeit

Bild 1 (a und b) zeigt eine Darstellung des idealen Signals sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich. Durch das Hinzuzie-

$$\begin{aligned}
 V(t) = & A_0 \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)] \\
 & + A_1 \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)] \\
 & + A_1 \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)] \\
 & \dots \\
 & + A_{Nth} \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)] \\
 & + A_{sub} \sin[2\pi f_0 t + \Delta\Phi(t) + m_d \sin(2\pi f_d t)]
 \end{aligned}$$

Gleichung 6

Der letzte Term repräsentiert eine Subharmonie. Die Gleichung kann durch das Hinzufügen von Angaben für Störfrequenzen beliebig erweitert werden. Wir werden jedoch an dieser Stelle aufhören und nun erklären, woher einige der unerwünschten Signale und Rauschgeräusche in einem Oszillator kommen. Wie durch Gleichung 6 dargestellt, produziert ein Oszillator ein sehr komplexes Signal mit zufälligen und deterministischen Phasenvariationen, Harmonischen, Subharmonischen etc. – doch woher kommen all diese Signal- und Rauschquellen?

Zufällige Rauschquellen

Die zufälligen Komponenten werden überwiegend, aber nicht ausschließlich, durch drei Hauptrauschquellen verursacht.

1. „Thermisches Rauschen“ (kTB Rauschleistung), verursacht durch die Brown'sche Bewegung von Elektronen aufgrund von thermischer Beeinflussung. Die Größe nimmt in Abhängigkeit von Temperatur, Bandbreite und Rauschwert zu.
2. „Schrotrauschen“ – auch Stromrauschen –, verursacht durch diskontinuierlichen Stromfluss über mögliche pn-Übergänge. (sog. potentielle Barrieren).
3. „Funkelrauschen“ – Rauschen, welches spektral abhängig von 1/f ist und in sämtlichen aktiven Bausteinen vorhanden, sowie in einigen passiven Komponenten, wie beispielsweise Kohlewiderstände.

Das mittelfrequenznahe Phasenrauschen des Oszillators ist direkt proportional zu dem frequenzbestimmenden Resonator Q. Je höher der Q-Wert des Resonators, desto kleiner das mittelfrequenznahe Phasenrauschen. Das Grundrauschen entsteht aus der Mitwirkung aller Einflüsse innerhalb der Oszillatorschaltung. Wir bezeichnen dies als weißes Rauschen.

Deterministische Quellen

Die deterministische Komponente kann unter anderem vier Ursachen haben:

1. Spannungsversorgung (Brummstörung): Im Falle einer unsauberen Spannungsversorgung kann ein Signal mittels dieser Energieversorgung in den Rückkopplungsweg des Oszillators gelangen und möglicher-

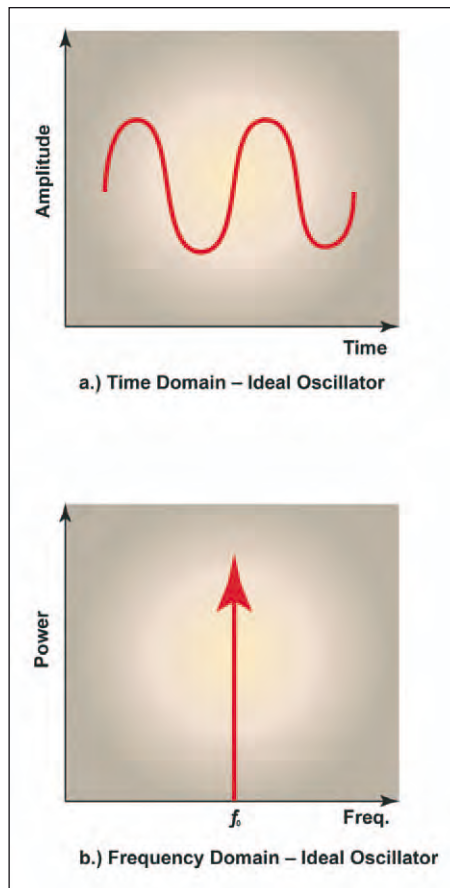


Bild 1: Signal eines idealen Oszillators im Zeitbereich (a) und im Frequenzbereich (b)

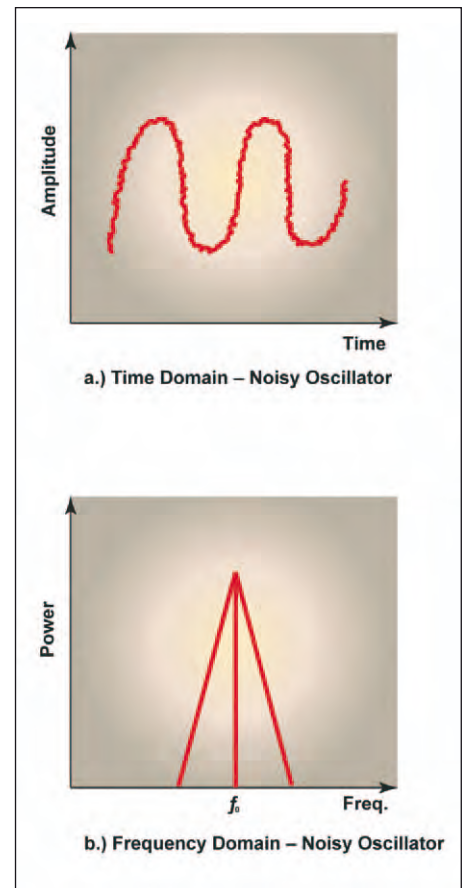


Bild 2: Signal eines rauschenden Oszillators im Zeitbereich (a) und Frequenzbereich (b)

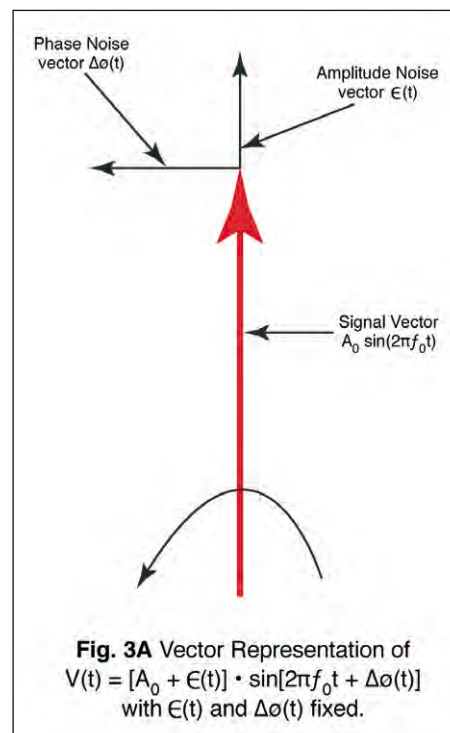
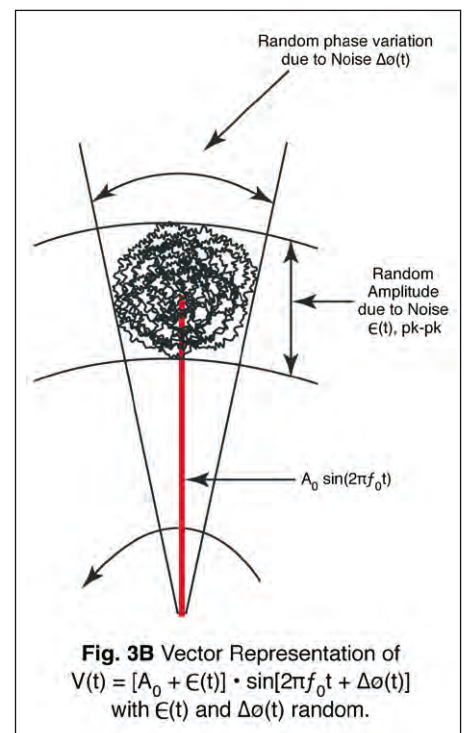


Bild 3: Vektordarstellung von Gleichung 3 mit Festwerten des Phasen- und Amplitudenrauschens (Fig.3A) sowie mit rauschbedingten, zufälligen Variationen von Phase und Amplitude (Fig.3B).



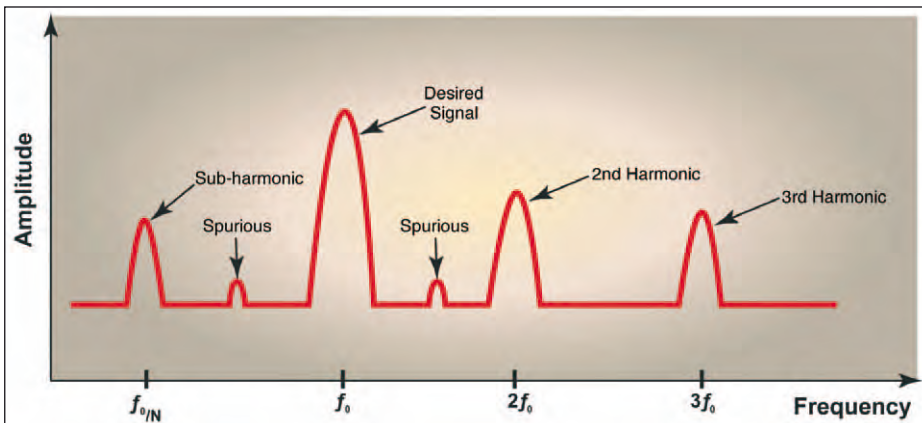


Bild 4: Typisches Ausgangsspektrum eines realen Oszillators

weise die Ausgangs- bzw. Trägerfrequenz phasenmodulieren.

2. Störsignale: Oszillatoren sind mit einem Rückkopplungsweg zur Generierung des gewünschten Ausgangssignals ausgestattet. In der Realität existiert jedoch eine Vielzahl solcher Rückkopplungswege, die Störschwingungen auf zahlreichen verschiedenen Frequenzen und Amplituden verursachen.

3. Quarzkristall-Resonanz: In einem Quarzkristall-basierten Oszillator kann ein nicht genutztes Resonanzsignal des Kristalls quarzgesteuerte Störsignale (Spurious) verursachen. Das stärkste Signal wird beispielsweise als Grundsignal (Fundamental) bezeichnet, hier entstehen ungradzahlige Obertöne (z.B. 3. Oberton, 5. Oberton, 7. Oberton etc.) sowie sogenannte Störsignale (Spurious), die in jedem Quarzkristall vorkommen. Ein Oszillator kann einige dieser Signale anregen und damit eine deterministische Komponente bei dem Ausgangssignal verursachen.

4. Subharmonische: eine Subharmonische ist ein ganzzahliger Teil der Ausgangsfrequenz. Ein Oszillator-Ausgangssignal, abgeleitet von einer niedrigen Frequenzquelle durch eine Art Frequenzvervielfachung, verfügt über mindestens eine Subharmonische. Die Subharmonische trägt direkt zum deterministischen Jitter des Ausgangssignals sowie zur harmonischen Verzerrung bei.

Harmonische Quellen

Harmonische können durch die Nichtlinearität irgendeines Bausteins innerhalb des Oszillatorschaltkreises generiert werden, jedoch sind die hauptsächlichsten Ursachen mögliche pn-Übergänge, die das Signal passieren muss. Eine hohe Harmonische, zum Beispiel die elfte, kann einen Empfänger desensibilisieren, indem sie in das IF-Band bzw. Empfangsfrequenzband wechselt. Harmonische Verzerrung kann ein Problem werden, wenn das Ausgangssignal des Oszillators von einem Sinussignal in ein Rechtecksignal konvertiert werden soll.

Fazit

Die Ausgangssignale eines Oszillators sind nicht perfekt. Die Spezifikation und Validierung der Oszillatorleistung durch den Systementwickler bedarf einer sorgfältigen Prüfung. Zudem kann das System an sich einen Oszillator leicht durch zugeführte bzw. abgestrahlte Signale stören. Erfahrene RF-Techniker wissen, dass es am Besten ist, von vornherein KEINE unerwünschten Signale zu generieren, oder aber zu versuchen, diese im Nachhinein herauszufiltern. ◀

ELECTRADE

ELEKTRONIK-VERTRIEB
UND CONSULTING

Komponenten und Knowhow

Seit über 20 Jahren vertreiben wir erfolgreich elektromechanische Komponenten und Systeme.

Unsere Kunden sind beste Adressen der Luftfahrt, Telekommunikation, Industrieelektronik und Medizintechnik.

Unsere Lieferanten sind Unternehmen aus den USA und Europa.

Eine attraktive Palette erklärungsbedürftiger Produkte in den Bereichen EMV, Schnittstellen und Sensorik festigt unsere Position im Markt.

Wir möchten unser Team verstärken.
Deshalb suchen wir zum baldigen Eintritt einen

Vertriebsingenieur (m/w) Raum Hannover

überwiegend für die Postleitzahlgebiete 2, 3 und 4.

Ihre Aufgaben werden sein:

- Technische und kaufmännische Betreuung des existierenden Kundenstammes
- Erschließung neuer Märkte, Aufbau neuer Kunden
- Durchführung von Verkaufsaktionen, Messeauftritten

Dazu sollten Sie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Ingenieur, Techniker der Elektrotechnik - oder vergleichbar qualifiziert
- Einige Jahre Erfahrung im Vertrieb erklärungsbedürftiger Produkte - aber auch Neueinsteiger in den Vertrieb haben eine Chance. Trauen Sie sich!
- Gute Englischkenntnisse in Wort und Schrift
- Kreativität, Durchsetzungsvermögen, Belastbarkeit

Sie sollten Ihre Tätigkeit vom Home-Office aus, am besten im Raum Hannover, durchführen.

Interessiert?

Dann schicken Sie uns doch bitte Ihre Bewerbung:

ELECTRADE GmbH
Personalstelle
Lochhamer Schlag 10 b
82166 Gräfelfing
www.electrade.com
personal@electrade.com