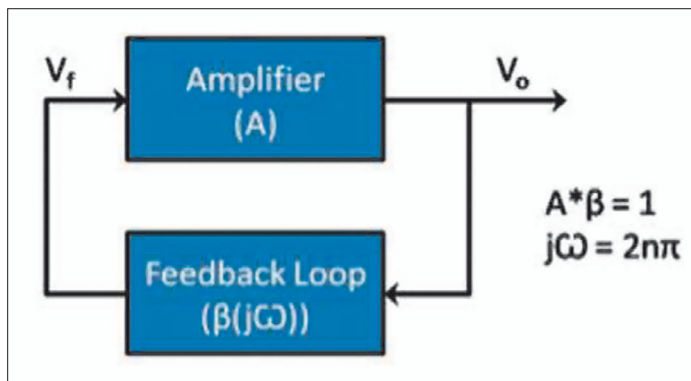


So erzeugt man einen präzisen Takt

Das entscheidende Element für den ordnungsgemäßen Betrieb eines digitalen Systems ist ein maßgeschneidertes Clock-Signal. Dieser Artikel behandelt wichtige Aspekte eines Taktoszillators.



entsprechen, d.h., die Verstärkung des Oszillationssystems mit geschlossenem Regelkreis muss 1 sein und die Phasenverschiebung um den Regelkreis muss $n \times 6,28$ betragen, wobei n eine beliebige ganze Zahl sein kann. Das Ganze wird im Aufmacherbild verdeutlicht.

Automatic Gain Control

Der Artikel konzentriert sich auf die verschiedenen Aspekte eines Oszillators für eine genaue Taktgenerierung, auch bei sich verändernder Temperatur und Zeit. Zu den behandelten Themen gehören:

- Grundlegende Kriterien für die Schwingung
- Quarzoszillator
- Stabilität
- Q-Faktor und seine Bedeutung

um die Präzisionsanforderungen zu erfüllen, die für die Kommunikation mit anderen Modulen im System erforderlich sind. Somit ist ein externer Oszillator erforderlich, der dem gesamten System ein Taktsignal liefert, welches alle Anforderungen an Präzision, Signalintegrität und Stabilität erfüllt.

Was ist ein Oszillator?

In der Elektronik kann jede Schaltung ein Oszillator sein, die in der Lage ist, ein sich wiederholendes Signal ohne Eingabe zu erzeugen. Mit einfachen Worten, ein Oszillator wandelt Gleichstrom in Wechselstrom mit der gewünschten Frequenz um. Eine Oszillatorschaltung verwendet im Allgemeinen einen Verstärker mit positivem Feedback: Um die Schwingungen aufrechtzuerhalten, müssen die Schaltkreise den Barkhausen'schen Kriterien

Bei anfänglicher Erregung ist das einzige Signal in der Schaltung Rauschen. Die Komponente des Rauschens, welche die Frequenz- und Phasenbedingung für die Schwingung erfüllt, breitet sich im System aus und nimmt in der Amplitude aufgrund positiver Rückkopplung zu. Die Amplitude des Signals erhöht sich, bis es durch die internen Eigenschaften des aktiven Elements selbst oder durch eine externe automatische Verstärkung (Automatic Gain Control, AGC) begrenzt wird. Die Zeit, die zum Aufbau der Schwingung benötigt wird, hängt von mehreren Faktoren ab, wie der Amplitude des Rauschsignals und der Verstärkung der Schleife.

Wenn es um Präzision und Stabilität bezüglich Temperatur und Zeit geht, werden Quarzoszillatoren wegen der hohen Güte Q eines Quarzes (im Bereich von 10^4 bis 10^6 im Vergleich zu etwa 10^2 für LC) gewählt.

Wichtigkeit des Taktes

In der modernen Technik ist die digitale Logik entweder in Form eines FPGAs, Mikrocontrollers, Mikroprozessors oder einer diskreten Logik zum Kern aller elektronischen Schaltungen geworden.

Digitale Systeme verwenden viele Komponenten, die miteinander verbunden werden müssen, um die erforderlichen Funktionen auszuführen. Das entscheidende Element für den ordnungsgemäßen Betrieb eines digitalen Systems ist ein Clock-Signal, das es all diesen digitalen Komponenten ermöglicht, optimal zu kommunizieren und eine Synchronisation zwischen ihnen herzustellen. Daher brauchen solche Systeme immer eine Quelle zur Erzeugung dieses Taktsignals, z. B. in Form eines Oszillators. Die meisten heutigen Mikrocontroller haben einen integrierten RC-Oszillator, doch der von ihm erzeugte Takt ist typischerweise nicht gut genug,

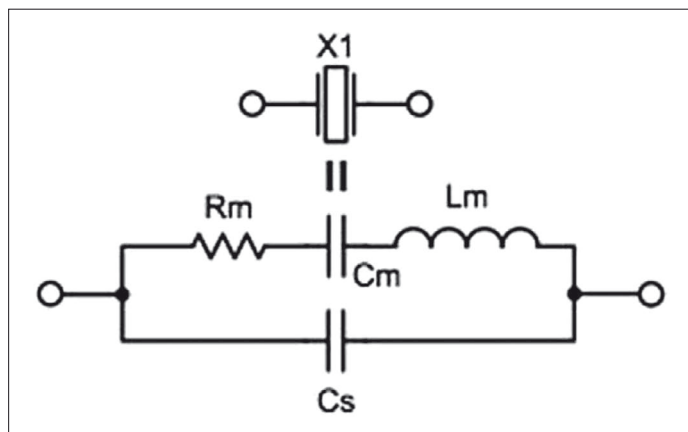


Bild 1: Ersatzschaltbild eines Quarzes

Quelle:

Ashish Kumar und Pushhek Madaan, Cypress Semiconductor: Oscillators: How to generate a precise clock source, EDN February 2013

übersetzt und gekürzt von FS

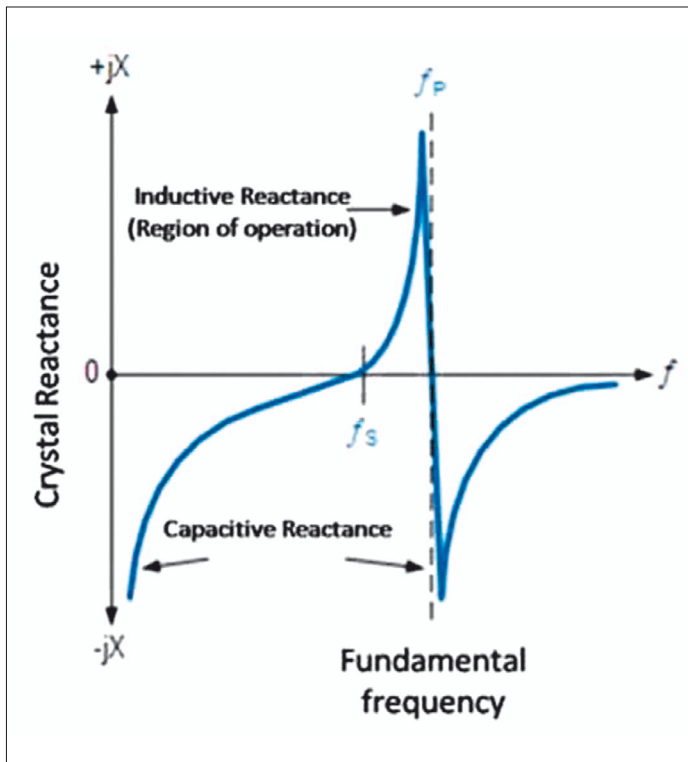


Bild 2: Verlauf der Reaktanz des Kristalls über der Frequenz

Quarzoszillatoren

Das größte Verkaufsargument von Quarzoszillatoren ist ihre Fähigkeit, eine konstante Frequenz unter verschiedenen Last- und Temperaturbedingungen zu erzeugen. Ein Quarz weist, eng beieinander liegend, eine Serien- und eine Parallelresonanzstelle auf. Die erzeugte Frequenz hängt von der Form und Größe des Kristalls ab sowie von der Schaltung. Je dünner der Kristall ist, desto höher ist die Resonanzfrequenz.

Bild 1 bringt das Ersatzschaltbild eines Quarzes. Wie man sieht, kann ein Quarz als LCR-Schaltung modelliert werden. Hier sind L_m , C_m und R_m die Bewegungsinduktivität, die Bewegungskapazität und der Bewegungswiderstand des Kristalls und C_s ist die Shunt-Kapazität, die aufgrund der elektrischen Verbindungen zum Kristall gebildet wird.

Quarzoszillatoren arbeiten, je nach Schaltungsart, auf der Serienresonanzfrequenz f_s , gebildet durch die Serienresonanz von L_s und C_s , oder auf der Paral-

lelresonanzfrequenz f_p , gebildet durch die Parallelresonanz von L_s und die Reihencombination von C_s und C_p .

Bild 2 zeigt die Frequenzkurve der Reaktanz des Kristalls. Bei Frequenzen weit von f_p erscheint der Kristall kapazitiv. Zwischen f_s und f_p erscheint er induktiv. Die Frequenz eines Quarzoszillators liegt üblicherweise zwischen f_s und f_p .

Oszillator und Stabilität

Wenn es um Oszillatoren geht, gibt es viele Faktoren, welche die Frequenzstabilität beeinflussen können, wie Alterung, Rauschen, Temperatur, Haltekreis, Haltbarkeit, Magnetfeld, Luftfeuchtigkeit, Versorgungsspannung und Schock. Einige dieser wichtigen Faktoren werden nachstehend erörtert:

Instabilitäten aufgrund der Zeit

Zeitliche Instabilitäten können in zwei Kategorien unterteilt

werden: Altern und kurzfristige Instabilität. Altern ist eine systematische Frequenzveränderung, die über lange Zeiträume beobachtet wird infolge interner Änderungen im Oszillator. Diese Frequenzänderung beträgt zwar nur wenige ppm, kann jedoch sehr wichtig sein im Umgang mit Systemen mit präzisen Frequenzanforderungen, wie DTV-Boxen usw. Im Gegensatz dazu sind kurzfristige Instabilitäten zufälliger Natur.

Es gibt mehrere Faktoren, die zum Altern beitragen können, wie Stoffübergang, Stress auf den Kristall, Wärmeausdehnung, Montagekraft, Verbindungselemente, Drive-Pegel des Kristalls und Gleichstrom (Vorspannen). Zum Kurzzeitausgang: Der Ausgang eines idealen Oszillators liefert eine perfekte Sinuswelle. In einem nichtidealen System treten aufgrund von zufälligem Rauschen oder Flimmerrauschen jedoch Abweichungen in der Phase des Signals auf, die bewirken, dass sich die Frequenz ändert, um den $2 \times 6,28$ Phasen-zustand aufrechtzuerhalten. Die Phasensteigung $d\phi/dt$ ist direkt proportional zu Q und Q muss für maximale Frequenzstabilität hoch sein. Daher sollte C_m minimiert werden. Je steiler die Steigung der Reaktanz zwischen f_s und f_p ist, umso besser ist die Frequenzstabilität.

Instabilitäten aufgrund der Temperatur

Die Resonanzfrequenzen eines Kristalls werden für Raumtemperatur angegeben. Ihre Temperaturabhängigkeit ist relativ gering. Wenn sich allerdings die Temperatur extrem ändert, kann die Abweichung von der Nennfrequenz bis zu einige Zehntel ppm betragen. Dies ist akzeptabel für Anwendungen wie Computing. Wo Genauigkeit und Präzision, bei Anwendungen wie Navigation, Radar, Funkkommunikation, Satellitenkommunikation usw., eine große Rolle spielen, ist diese Variation eventuell nicht akzeptabel. Somit

wird für solche Anwendungen ein zusätzliches Ausgleichselement im System erforderlich.

Instabilitäten aufgrund der Abstimmbarkeit

Das Abstimmen eines Oszillators über einen weiten Frequenzbereich kann zu Instabilitäten führen. Daher werden Filter verwendet, um unerwünschte Frequenzmodi zurückzuweisen. Dies macht es jedoch für abstimmbare Oszillatoren schwierig, eine höhere Frequenzstabilität zu erreichen, da die Lastreaktanz nun auch durch die Streukapazität und Induktivität der in den Filtern verwendeten Elemente beeinflusst wird.

Der Q-Faktor

Hier ist zwischen Leerlauf- und Betriebsgüte zu unterscheiden. Der Q-Faktor gibt grundsätzlich das Verhältnis der im Resonator gespeicherten Energie (in L und C) zum begleitenden Energieverlust (in R, dem Dämpfungswiderstand) an. Durch die Beschaltung tritt zum internen R ein externer R hinzu, daher ist die Betriebsgüte immer geringer als die Leerlaufgüte.

Einige der Vorteile eines höheren Q-Faktors sind:

Mit einem höheren Q ist das Phasenrauschen geringer, da das Phasenrauschen stark von der Güte des Kristalls abhängt. Eine engere Bandbreite ist ein weiterer Vorteil eines höheren Q-Faktors, denn dies führt zu einer besseren Frequenzstabilität. Q ist proportional zu der Zeit, während der die Anregung abklingt. Somit steigert ein höheres Q die Abklingzeit. Die Abklingzeit, zusammen mit der Schleifenverstärkung, hilft bei der Reduzierung der Oszillatorstartzeit. ◀