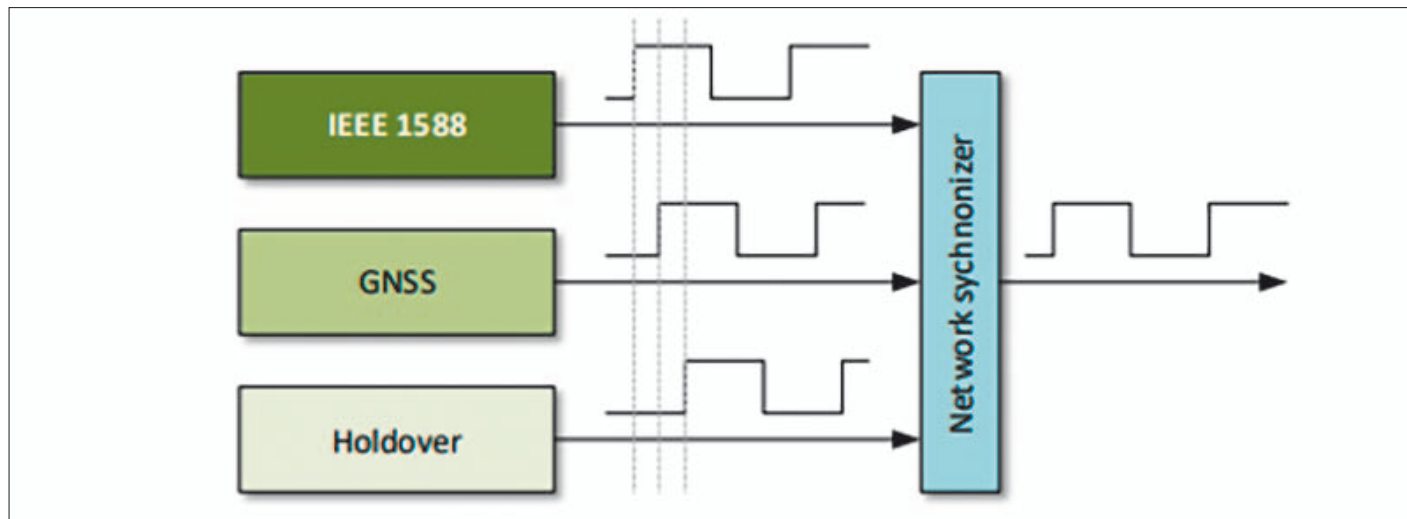


Neudefinition der besten Umsetzung

Implementierung von 5G-Timing-Lösungen



Eine der technologischen Hürden, vor denen die Industrie bei der Vorbereitung auf 5G steht, ist die Bereitstellung einer Netzwerk-Timing-Quelle, die genau, stabil und zuverlässig genug ist, um über schmalere Kanäle mehr Datentransfer schneller zu erledigen als bei 4G-Netzwerken.

Mit zehn- bis zwanzigmal mehr Sende- und Empfangsgeräten als 4G wird die kommende Generation von 5G-Netzen ein viel geringeres Latenzbudget zwischen den Geräten aufweisen.

Darüber hinaus muss die höhere Zeitgenauigkeit von 5G-Netzen erreicht werden, obwohl eine viel größere Anzahl von Funkgeräten in preiswerteren Gehäusen und mit weniger thermischem und mechanischem Schutz angesteuert werden muss, die zudem an

schwer kontrollierbaren Orten wie Telefonmasten und Laternenpfählen oder an stark befahrenen Autobahnen, wo sie Hitze, Vibrationen und raschen Temperaturschwankungen ausgesetzt werden, angebracht sind.

MEMS-Timing-Architekturen als Lösungsansatz

Diese und andere Herausforderungen beim 5G-Einsatz werden mit den neusten MEMS-

Timing-Architekturen bewältigt, die eine Alternative zu früheren ofengesteuerten Oszillatoren (OCXO) bieten, welche bisher als exakte Timing-Quelle eingesetzt wurden.

MEMS-OCXOs überwinden die Einschränkungen von Quarz-OCXOs und bieten gleichzeitig neue Funktionen, die es ermöglichen, neue „best practices“ für den Einsatz von 5G-Infrastrukturen auch in rauen Umgebungen zu entwickeln.

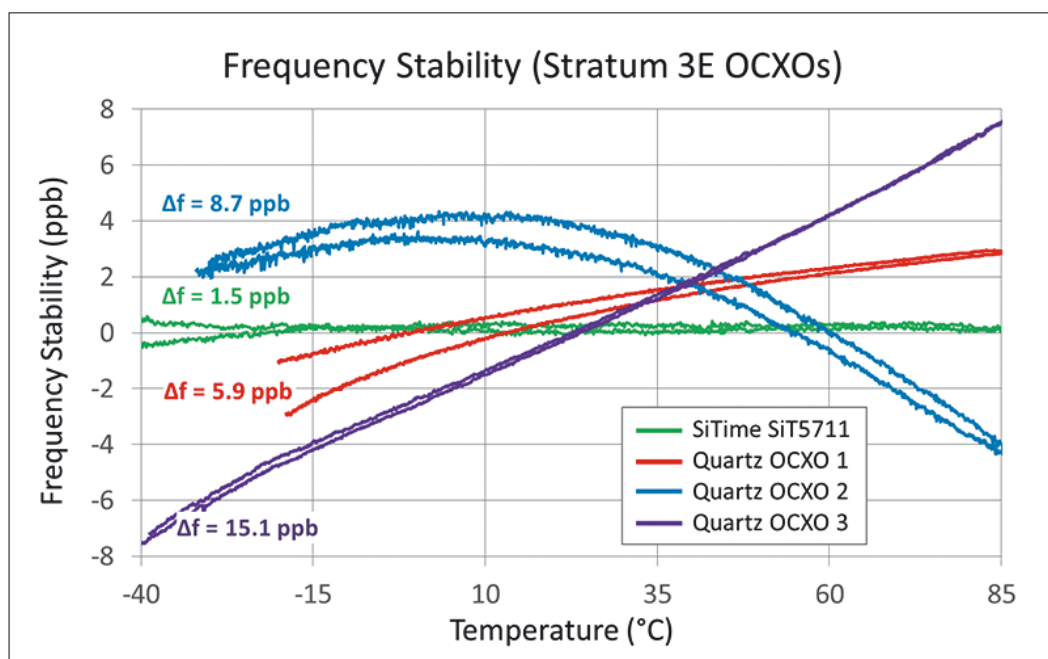


Bild 1: 5G Best Practices mit MEMS-Oszillatoren

Autoren:
Markus Lutz, CTO and Founder, SiTime Corporation

Axel Gensler, Senior Product Manager RF Components, Quartz Crystal, Oscillators,

Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH

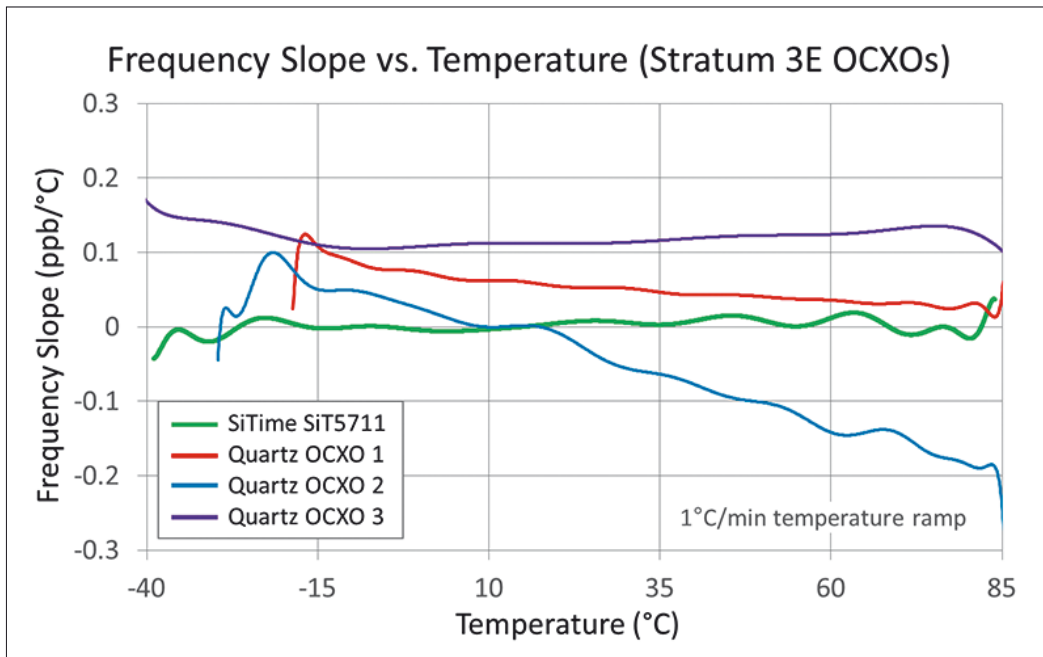


Bild 2: Bedenken bezüglich Hitze und schneller Temperaturschwankungen werden mit MEMS-Oszillatoren ausgeräumt

Da Mobilfunkbetreiber auf 5G- und Edge-Computing umsteigen, benötigen sie eine viel präzisere Zeitsynchronisation in den Funkgeräten, was den Einsatz von OCXOs erforderlich macht. Vor 5G wurden OCXOs lediglich in einer gut kontrollierten Umgebung eingesetzt. Doch in Zukunft werden Computer, Kernnetzwerk und Funkkomponenten zu einem 5G-System zusammengeführt, das häufig in einer unkontrollierten Umgebung wie einem Turm, Dach oder Laternenmast installiert wird. Die OCXOs sind in dieser Umgebung Vibrationen und extremen Temperaturen ausgesetzt, und das ohne den Vorteil des thermischen und mechanischen Schutzes, der mit früheren 4G-Funkgehäusen geboten wurde. Dies erfordert eine Auswertung der Vorteile von MEMS- und Quarz-Timing-Technologien für die Implementierung der kritischen Funktionalität eines lokal betriebenen Taktgebers.

Engeres Timing in rauen Umgebungen.

Die Wichtigkeit dieser lokalen Timing-Quelle darf nicht unterschätzt werden. Es ist eine von drei Zeitquellen in einem 5G-System, die auch das Netz-

werk selbst und die Backup-GNSS-Quelle beinhalten, die einen Impuls pro Sekunde liefert, wenn das Netzwerk ausfällt. In diesem Fall muss die lokale Zeitquelle als Holdover-Taktgeber fungieren und solange weiterlaufen, bis die primäre(n) Quelle(n) des Timings zurückkehrt.

Die Taktquelle verhält sich wie ein Schwungrad, das sich mit konstanter Geschwindigkeit dreht, auch wenn es nicht aktiv angetrieben wird. Es darf keine drift- oder temperaturbedingten Frequenzänderungen, keine „Aktivitätseinbrüche“ oder plötzlichen Frequenzsprünge geben. Die Holdover-Taktquelle muss extrem stabil sein, damit der Netzwerksynchronisator, der zwischen den drei Quellen wählt, „versteckte“ Umschaltungen ohne Unterbrechung in der Signalphase des ausgehenden Taktes durchführen kann.

Die Aufmachergrafik skizziert: Das Problem mit quarzbasierten OCXOs in dieser kritischen 5G-Holdover-Rolle ist, dass sie extrem empfindlich auf Umweltstressoren wie Schock, Vibration, Hitze und schnelle Temperaturschwankungen reagieren. Jeder dieser Stressoren kann die Fähigkeit eines OCXO auf Quarzbasis stören, eine sta-

bile Timingquelle zu liefern. Das Fehlen einer stabilen Zeitquelle verschlechtert die Netzwerkleistung, reduziert die Betriebszeit und wirkt sich auf sicherheitskritische Dienste wie Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) aus.

Schock und Vibrationen können besonders problematisch sein. Vibrationen können schnell dazu führen, dass Quarzoszillatoren außerhalb der Spezifikation liegen, möglicherweise solange wie die Vibration andauert. Diese Zeitspanne kann für einen vorbeifahrenden Güterzug wenige Minuten betragen, oder wenn beispielsweise an einem windigen Tag Windböen ständige Vibrationen verursachen, auch mehrere Stunden.

Auch die Temperatur stellt eine Herausforderung dar. Je nach Jahreszeit und Einsatzort des Oszillators kann er extrem heißen oder kalten Bedingungen ausgesetzt sein, die über einen längeren Zeitraum anhalten können. Kritisch sind zudem schnelle Temperaturwechsel, wenn etwa eine Blackbox in der Sonne beim Vorbeiziehen einer Regenwolke schnell abkühlt oder in Gebieten, in denen kollidierende Wetterfronten und ein sich bewegender Jet-Stream heiße

und kalte Luftmassen zusammenbringen, die die Umgebungstemperatur in wenigen Minuten von einem Extrem zum anderen ändern können.

Quarzoszillatoren haben Schwierigkeiten, mit diesen Effekten umzugehen, was zu Frequenzänderungen von hunderten ppb (parts per billion) führen kann. In vielen Fällen können aufgrund der langsamen Zeitkonstanten der Ofenregulierung mehrere Minuten verstreichen, bis die Quarzoszillatoren zur vorgegebenen Frequenz zurückkehren.

Nichts davon ist in der 5G-Umgebung zufriedenstellend, wo das Latenzbudget des Netzwerks hinter den Funkgeräten jetzt 5 bis 10 ns beträgt und die maximale Zeitdifferenz zwischen den Funkgeräten auf 130 ns begrenzt ist. Um diese Probleme zu lösen, verwenden MEMS-Timing-Lösungen eine Kombination aus programmierbarer Analogtechnik, innovativen Gehäusen und leistungsstarken Temperaturkompensationsalgorithmen, die eine 20-fach höhere Timing-Präzision liefert als quarzbasierte Alternativen.

Die Fähigkeit dieser MEMS-OCXOs, die Frequenzstabilität unter schwierigen Umweltbedingungen aufrechtzuerhalten, wird sich transformativ auf den Einsatz des 5G-Systems auswirken. Die Technologie gibt Entwicklern die Möglichkeit, ihre Design-Strategien grundlegend zu überdenken, damit sie die Vorteile der neuen Funktionen von MEMS-OCXOs voll ausschöpfen können.

Die neue Praxis mit MEMS-OCXOs

MEMS-Oszillatoren schaffen neue „best practices“ für den Einsatz exakter Netzwerk-Timing-Quellen. Dies will Bild 1 verdeutlichen. MEMS-OCXOs ersparen den Entwicklern die Einschränkung ihrer OCXO-Bestückungsmöglichkeiten für Leiterplatten. Die Empfindlichkeit von Quarz-OCXOs gegenüber Umweltstressoren erfordert, dass sie von allen Quellen thermischer Schocks, beispielsweise

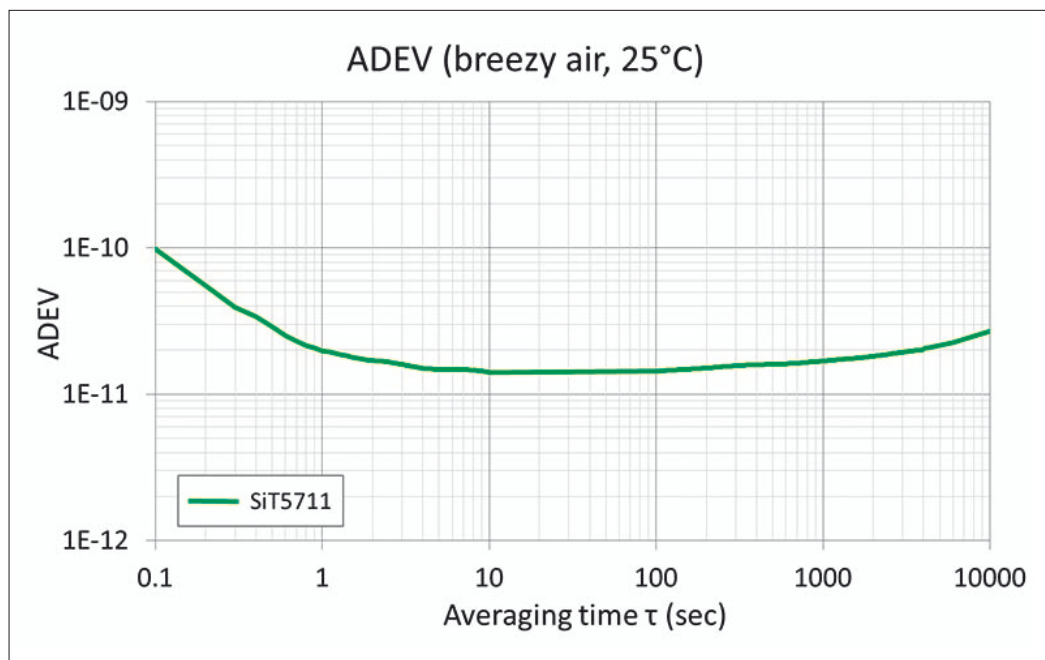


Bild 3: Die MEMS-Timing-Quelle erleidet keine umweltinduzierten schnellen Frequenzänderungen, die zu Verbindungsabbrüchen führen können

durch Hitze oder Luftströmung verursacht, auf dem Board separiert werden.

Diese Einschränkungen bei der Platzierung auf der Platine haben das Routing kompliziert gemacht und zu potenziellen Signalintegritätsproblemen geführt. Entwickler haben versucht, dieses Problem durch den Einsatz spezieller OCXO-Abdeckungen aus Kunststoff zur Wärme- und Luftstromisolierung zu lösen, was jedoch zu zusätzlichen Fertigungsschritten und erhöhter Produktionskomplexität führt.

Diese Bedenken bestehen bei MEMS-OCXOs nicht, die eine 20-fach höhere Vibrationsfestigkeit gegenüber Quarz aufweisen. MEMS-OCXOs haben eine deutlich bessere dynamische Stabilität mit einer Frequenzneigung von ± 50 ppt/K typisch (parts per trillion) und einer Allan-Differenz (ADEV) von 2^{-11} unter Luftstrom.

Dank MEMS-OCXOs müssen sich Ingenieure während des Boarddesigns nicht mehr um Schutzkomponenten oder mechanische Abschirmungen kümmern, und Onchip-Regler machen externe LDOs oder Ferritkugeln überflüssig. Darüber hinaus sind MEMS-Oszillatoren

resistent gegen Mikrofonie- und/oder Platinenbiegeeffekte, was bei großen Telekom-Leiterplatten eine wichtige Rolle spielt. Ohne diese Platzierungsbeschränkungen haben Designer deutlich mehr Freiheit, die Komponenten nach anderen Kriterien anzuordnen, wie beispielsweise weniger Kreuzkopplung, reduzierter EMV und höherer Dichte, um Platz zu sparen.

Bild 2 will demonstrieren: Bedenken bezüglich Hitze und schneller Temperaturschwankungen werden ebenfalls mit MEMS-Oszillatoren ausgeräumt. Entwickler, die die leistungsfähigeren MEMS-OCXOs verwenden, können davon ausgehen, dass ihre lokale Zeitquelle bis 125°C sauber und mit sehr hoher Stabilität arbeitet. MEMS-OCXOs halten die Frequenz auch dann innerhalb der Spezifikationen ein, wenn sich die Umgebungstemperatur innerhalb von Minuten um bis zu 20 K ändert.

Die Timing-Quelle erleidet keine umweltinduzierten schnellen Frequenzänderungen, die zu Verbindungsabbrüchen führen können. Dies macht Bild 3 deutlich. Es wird möglich sein, den Betreibern das Vertrauen zu

geben, dass sie 5G-Geräte überall dort einsetzen können, wo sie gebraucht werden.

Die Programmierbarkeit des MEMS-Timings definiert auch die Best Practices im 5G-Design neu. MEMS-OCXOs erweitern die Wahlmöglichkeiten, die Entwickler im Hinblick auf Frequenzen, Ausgangsarten, Betriebstemperatur, In-System-Steuerung und andere Merkmale haben. So können Entwickler nun beispielsweise die für die Anwendung optimale Frequenz von 1 bis 220 MHz frei wählen.

Sie können auch Ausgabetypen wie LVCMOS und clipped sine-wave spezifizieren, um die Leistung der Baugruppe zu optimieren. Weitere Optionen sind der erweiterte Temperaturbetrieb von -40 bis $+95^\circ\text{C}$ und -40 bis $+105^\circ\text{C}$, die serielle I²C-Schnittstelle für die In-System-Programmierbarkeit und der digital gesteuerte Oszillatormodus anstelle eines herkömmlichen analogen spannungsgesteuerten Oszillators.

Diese Auswahl ist bei Quarz-OCXOs nicht möglich, da sie von Grund auf speziell entwickelt wurden, gravierende Einschränkungen in der Spezifizierbarkeit aufweisen und schwer zu

beschaffen und zu verwenden sind. Im Gegensatz dazu gibt es MEMS-OCXOs in einer Vielzahl von Standard-Footprint-Optionen. Sie sind als Drop-in-Ersatz für ältere OCXOs erhältlich, während sie gleichzeitig die Systemleistung und Robustheit insgesamt verbessern.

Ein weiterer Vorteil ist das schnellere Erreichen der gewünschten Frequenz: MEMS-OCXOs sind in Millisekunden betriebsbereit, während dies bei analogen quarzbasierten OCXOs Minuten dauern kann.

Zusammengefasst

Entwickler von 5G-Netzwerkgeräten stehen vor schwierigen Herausforderungen. Sie müssen eine stabile Zeitquelle einführen und aufrechterhalten und das für die zehnfache Menge an installierten Funkgeräten, als dies noch bei 4G-Netzen der Fall war. Die Verbindung zum Kernnetz erfolgt über minderwertige Wählnetze, was den Bedarf an zuverlässigen Taktquellen in den Funkgeräten weiter erhöht. Außerdem muss die Stabilität der Zeitquelle in deutlich rauerer Umgebungen garantiert werden, als dies bei 4G-Funkgeräten üblich war, jedoch ohne die Vorteile der besser schützenden Gehäuse früherer Funkgeräte.

MEMS-Oszillatoren sind die Alternative zu herkömmlichen, quarzbasierten OCXOs, die diese Herausforderungen einfach nicht bewältigen können. MEMS-Lösungen bieten die Stabilität, Performance und Immunität gegenüber Schock, Vibration, Hitze und schnellen Temperaturschwankungen, die nötig sind, um sicherzustellen, dass 5G-Funkgeräte überall dort installiert werden können, wo sie benötigt werden – ungeachtet der Umweltbedingungen. Gleichzeitig definieren die MEMS-OCXOs „best practices“ für den Aufbau von 5G-Systemen neu und geben Entwicklern bedeutend mehr Gestaltungsmöglichkeiten als bei quarzbasierten OCXOs. ◀