

Lokale Oszillatorsubstitution in Satcom-Testanwendungen

Satellitensysteme im niedrigen Erdborbit (LEO) werden mit zunehmender Geschwindigkeit für missionskritische Anwendungsfälle eingesetzt. Dies führt zu entsprechenden kritischen Testanforderungen.

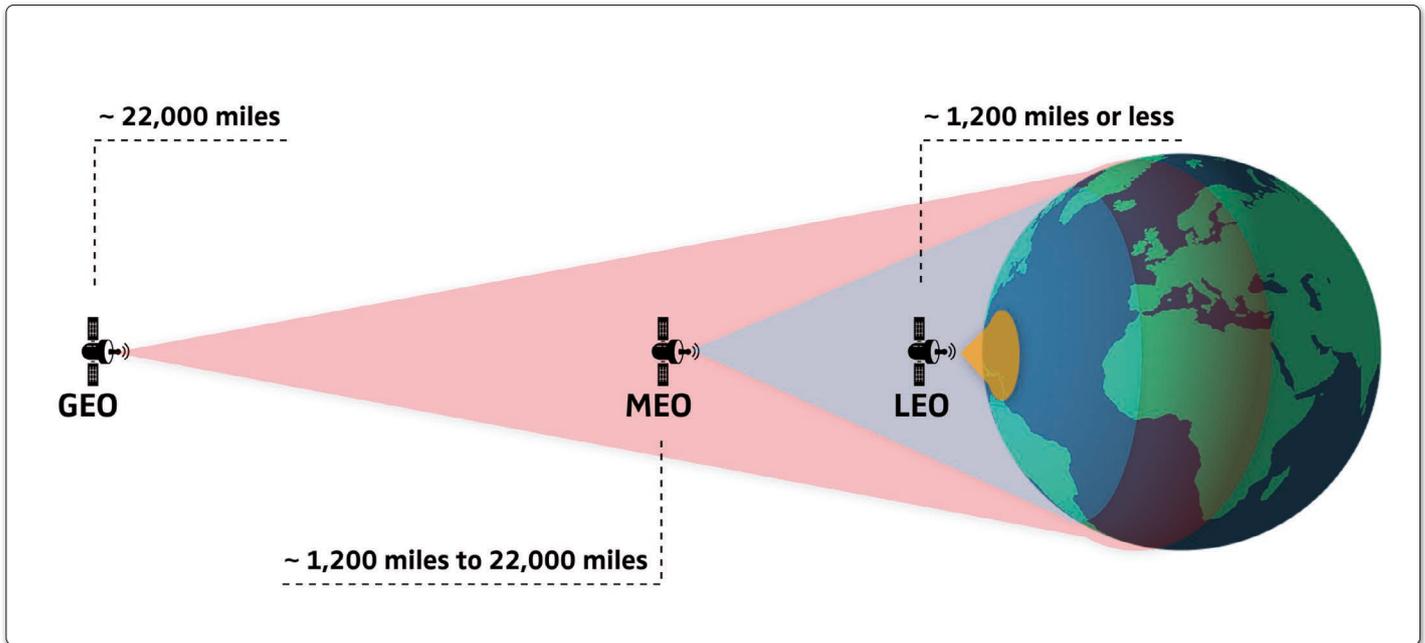


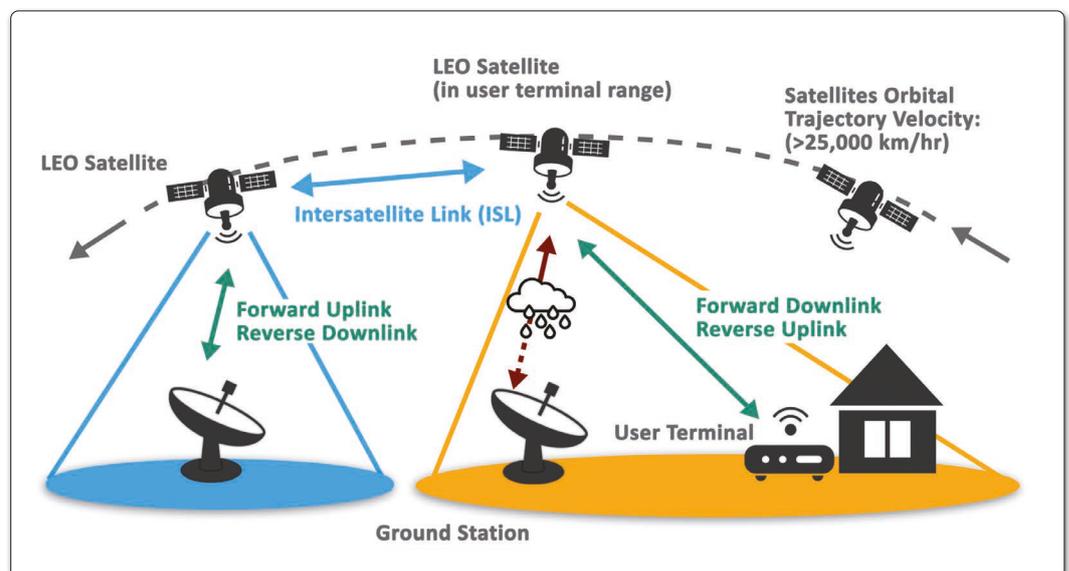
Bild 1: Deployments in GEO, MEO und LEO

Bei ungenauer Durchführung kann es dann zu einer beeinträchtigten Systemleistung kommen. Hier wird darum erläutert, wie die Technik der lokalen Oszillatorsubstitution zur

Evaluierung oder Fehlersuche in Auf- und Abwärtskonvertierungsketten verwendet wird. Zur Vereinfachung werden Erdstationsanwendungen behandelt. Die gleiche Technik gilt jedoch

auch für Benutzerterminals und Satelliten-Nutzlasten.

Bekanntlich gibt es verschiedene Arten von Satelliten-deployments von geostationären



Bob Buxton
Produktmanager
Boonton Electronics
<https://boonton.com>

Bild 2: Typische Architektur und die verschiedenen Elemente eines LEO-Systems

Orbiten (GEO) bis hin zu denen im niedrigen Erdorbit, wie in Bild 1 gezeigt.

Die Deployments von LEO-Satelliten nehmen in einem immer schnelleren Tempo zu. Zum Beispiel hat das Starlink-System von SpaceX derzeit etwa 3500 Satelliten im niedrigen Erdorbit, und im Dezember 2022 genehmigte die FCC die Bereitstellung von 7500 Satelliten der nächsten Generation. Aufgrund der geringeren Latenz von LEO-Systemen werden sie immer mehr zur bevorzugten Option für zivile und militärische Anwendungen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf 5G und militärische Kommunikation. Die Nutzung des Starlink-Systems durch die Ukraine ist hier ein aktuelles Beispiel. Die Verwendung von LEO-Systemen für diese Arten von Operationen erfordert eine hochpräzise Prüfung, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten.

Bodenstationen, auch als Gateways bezeichnet, wenn sie mit dem terrestrischen Netzwerk verbunden sind, sind ein Schlüsselement für den Auf- und Abwärtslink-Betrieb, wie in Bild 2 gezeigt. Die verschiedenen Module, die die Auf- und Abwärtslink-Pfade bilden, erfordern verschiedene Tests, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Solche Tests

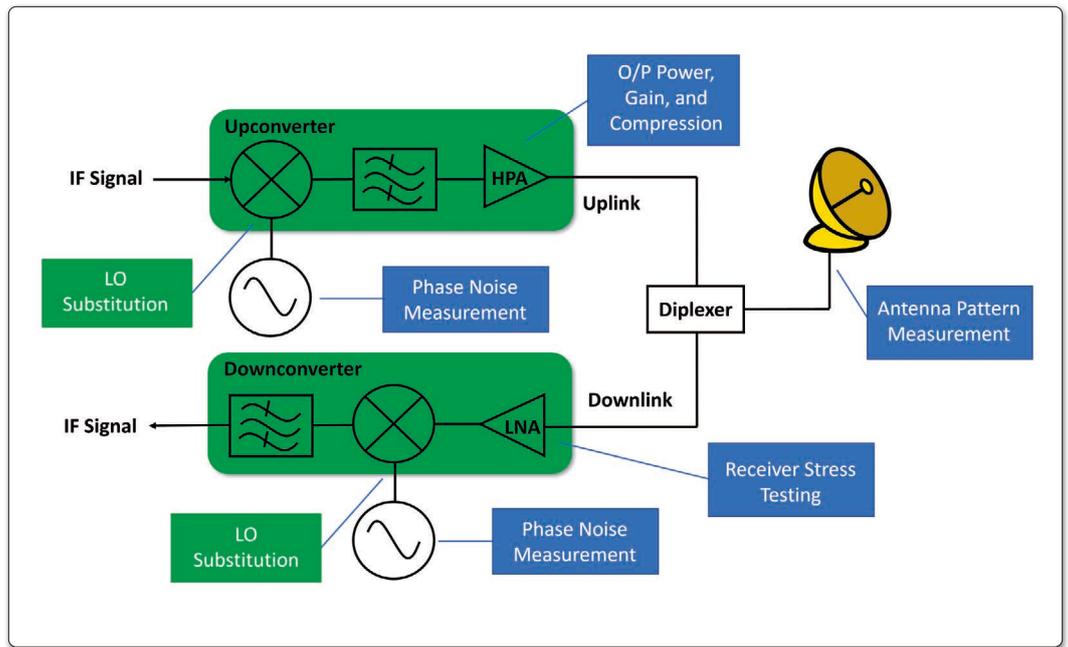


Bild 3: Ein Gateway-Blockdiagramm mit Beispielen für HF- und Mikrowellen-Pfadtests

können während der Entwicklung und Produktion der Module, während der Integration, im Rahmen der Fehlersuche und der operativen Überwachung durchgeführt werden.

Bild 3 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm der RF- und Mikrowellen-Pfade in einem Gateway und Beispiele, wo Testgeräte zur Beurteilung der Leistung der physikalischen Schicht verwendet werden. Für unsere Zwecke konzentrieren wir uns auf die grünschattierten Bereiche, in denen Signalgenera-

toren als LO-Ersatz während der Evaluierung oder Fehlersuche in Zusammenhang mit den Auf- und Abwärtskonvertierungspfaden verwendet werden.

Wichtige Spezifikationen für den LO

Bevor wir uns mit der LO-Substitution befassen, ist es notwendig, zu überlegen, was in Bezug auf die Spezifikationen des lokalen Oszillators wichtig ist. Es gibt viele Faktoren, die zur Leistung von Satelliten-Auf-

und Abwärtslinks beitragen, und einige davon, wie die Signal-sauberkeit der lokalen Oszillatoren, beeinflussen Bitfehler. Überschüssiges Phasenrauschen erhöht die Fehlervektormagnitude (EVM) und kann zu Symbol- und damit zu Bitfehlern führen, weil die Position der Konstellationspunkte im IQ-Diagramm über Symbolentscheidungsgrenzen hinwegkreuzt, wie in Bild 4 gezeigt.

LO-Substitution

Die LO-Substitution ist eine wichtige Technik zur Prüfung von Auf- und Abwärtskonvertern in Kommunikationssystemen. Sie ermöglicht es Entwicklungsingenieuren und Technikern, Signalpfade zu bewerten, ohne dass ihre Leistung durch die Eigenschaften des eingebauten LOs verdeckt wird, oder um festzustellen, ob der LO die Quelle von Problemen ist, wenn das System nicht ordnungsgemäß funktioniert. Bei der Auswahl eines Synthesizers als LO-Ersatz ist es wichtig, einen zu wählen, der eine hohe Signalreinheit aufweist, damit das Testgerät selbst nicht die Ursache für schlechtes Phasenrauschen und damit Fehler ist, wie rechts in Bild 4 gezeigt.

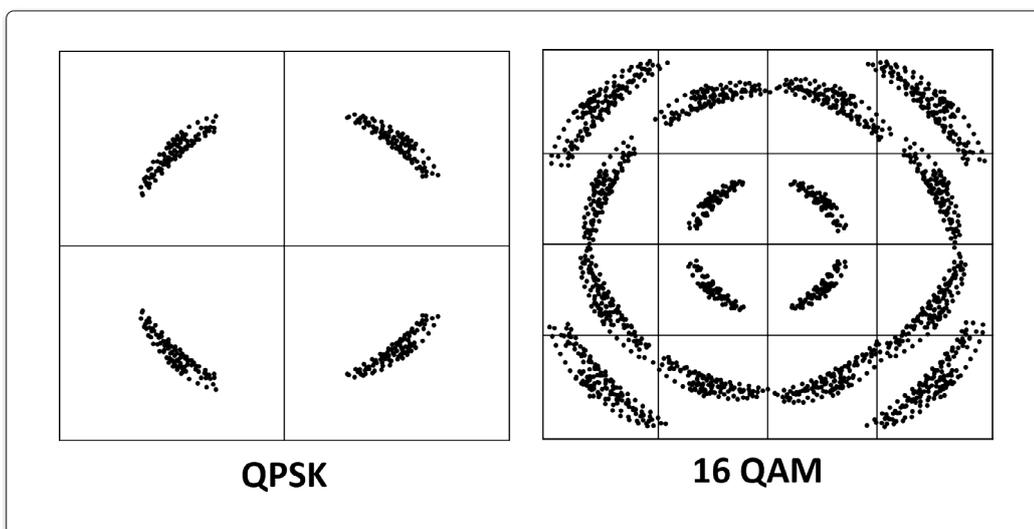


Bild 4: QPSK ist gegenüber Phasenrauschen widerstandsfähig, während das gleiche Maß an Phasenrauschen (Winkelrotation) bei Modulationsschemata höherer Ordnung zu Symbolfehlern führt

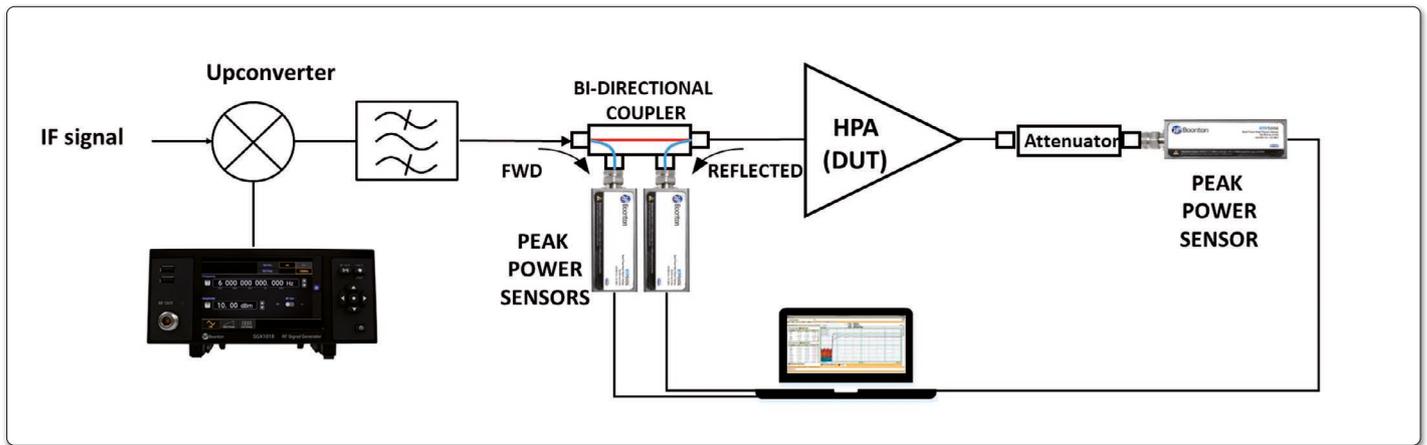


Bild 5: Ein Aufbau mit LO-Substitution zur Prüfung eines Satelliten-Aufwärtswandler-HPA mit dem Boonton SGX1000 Series als LO-Ersatz

Bild 5 zeigt den Boonton-SGX1000-Signalgenerator, der als LO-Ersatz verwendet wird, zusammen mit den Boonton-RTP5000-Spitzenleistungssensoren zur Bewertung des Hochleistungsverstärkers (HPA) in der Aufwärtswandlerkette.

	Bodenstationen/Gateways	Benutzerterminals	Satelliten-Nutzlasten
Entwicklung	✓	✓	✓
Herstellung	✓	✓	✓
Fehlersuche	✓	✓	✓
Installation	✓		
Wartung	✓	✓	

Es gibt verschiedene Phasen im Lebenszyklus eines Satcom-Systems, in denen ein Signalgenerator als Teil des Testaufbaus verwendet würde. Tabelle 1 zeigt diese Phasen und deren Relevanz für die Prüfung von Bodenstationen, Benutzerterminals und Satelliten-Nutzlasten.

HF-Ausgangsport ist. Wenn jedoch die LO-Frequenzen für Auf- und Abwärtslinks aus einer einzigen Box erzeugt werden sollen, kann ein Mehrkanal-Synthesizer praktischer sein. Beispiele für diese Formfaktoren von Boonton und der Schwesterfirma Holzworth sind in Bild 6 gezeigt.

Signalquellen sind in verschiedenen Formaten verfügbar, wobei der häufigste ein Signalgenerator mit einem einzigen

Über LO-Substitution hinaus

Signalgeneratoren haben Satellitenkommunikations-Anwendungen, die über die LO-Substitution hinausgehen. In einigen Systemen, insbesondere militärischen Satcom-Systemen, kann es weiterhin erforderlich sein, neue Wellenformen zu bewerten oder Störer zu emulieren. In solchen Anwendungen wird ein Signalgenerator verwendet, um die von einem Arbiträrsignalgenerator erzeugten Wellenformen aufwärts zu konvertieren. In diesen Fällen ist wiederum das Phasenrauschen ein wichtiger Parameter.

Zusammenfassung

Es wurden die Bedeutung von Phasenrauschen, die Verwendung von Signalgeneratoren als LO-Ersatz und ihre Anwendung zur fortlaufenden Wellenformvalidierung behandelt. Die Boonton-SGX1000-Reihe von Signalgeneratoren, die Frequenzen von 10 MHz bis 18 GHz abdecken, wurde als Beispiel verwendet zusammen mit den Synthesizerfamilien von Holzworth.

Obwohl Gateway-Beispiele verwendet wurden, gelten alle gleichen Prinzipien für Benutzerterminals und Satelliten-Nutzlasten. ◀



Bild 6: Ein Signalgenerator mit einem einzigen Ausgang (links) und ein Mehrkanal-Synthesizer