

Auswahl von Antennen-Frontend-Komponenten für Nicht-GEO-Satellitenapplikationen

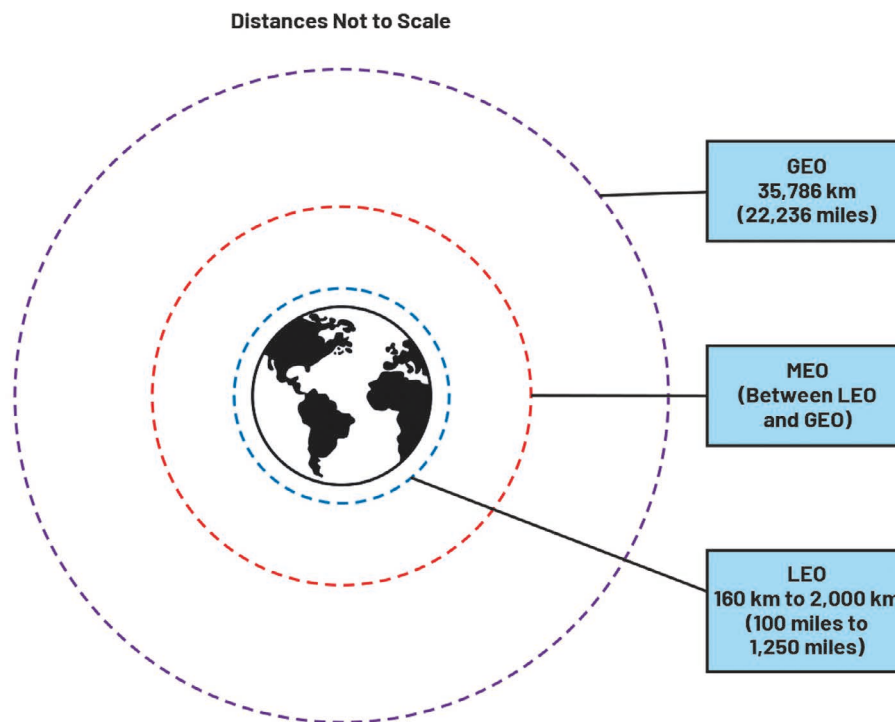


Bild 1: Vergleich der Orbits von LEO, MEO und GEO

Die Einführung aktiver elektronisch abtastender Antennen (AESAs) für die Satellitenkommunikation bietet Betreibern und Anwendern größere Flexibilität. Dieser Beitrag hilft dem Entwickler bei der Auswahl von Komponenten für das Antennen-Frontend (rauscharme Verstärker und Leistungsverstärker) für den Einsatz in diesen Beamforming-Arrays.

Einleitung

Seit über 60 Jahren kommt die Satellitentechnologie zum Einsatz. Obwohl die ersten Satelliten aufgrund von Startgewicht- und Größeneinschränkungen in eine niedrige Erdumlaufbahn (LEO) gestartet wurden, sind die Satelliten in einer geosyn-

chronen Erdumlaufbahn (GEO) bekannter, wo sie zahlreiche wichtige Dienste wie Telekommunikation, Satellitenfernsehen, Erdbeobachtung und auch eine Reihe von Funktionen für Regierungen und ihr Militär bereitstellen. Es hat jedoch ein erheblicher Wandel stattgefunden, sodass nun LEO und solche für die mittlere Erdumlaufbahn (MEO) die attraktivsten Umlaufbahnen für eine Reihe großer Konstellationen sind, die eine Reihe von datengestützten Diensten (Satellitenkommunikation, Erdbeobachtung und -kartierung, Navigation und Ortung usw.) bieten. Bild 1 zeigt die relativen Positionen der LEO-, MEO- und GEO-Umlaufbahnen.

Die Tendenz zu Nicht-GEO-Umlaufbahnen hat viele Gründe. Sie ist zurückzuführen auf das Zusammenwirken von niedrigeren Startkosten, der Einführung der Massenfertigung für Satelliten, technischen Fortschritten in der Kommunikations- und Antennentechnologie sowie in der Sensorik und der optischen Technologie zur Kommunikation zwischen Satelliten. Auch die Verfügbarkeit von hohem privatem Kapital zur Finanzierung dieser umfangreichen Programme spielt dabei eine Rolle.

Der zunehmende Einsatz von LEO-Raumfahrzeugen stellt die Entwickler von Satellitenkommunikationsverbindungen in dieser Umlaufbahn vor neue



Autor:
Jim Ryan
Product Marketing Manager
Analog Devices
www.analog.com

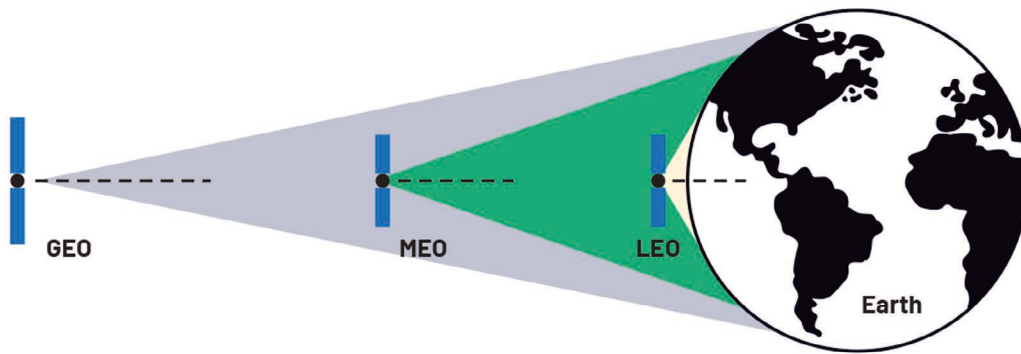


Bild 2: Abdeckung der Erde durch GEO, MEO und LEO

Herausforderungen. Anstelle der festen Kommunikationsverbindungen der GEO-Satelliten kommen Verbindungen zum Einsatz, die anpassungsfähig sein müssen, damit sie mit Orten auf der Erde kommunizieren können, auch wenn sie den Planeten mit Geschwindigkeiten im Bereich von 7,5 km/s umkreisen.

AESAs (Active Electronically Scanned Arrays) werden in diesen modernen Satellitenkommunikationssystemen nicht nur dafür eingesetzt, um das Antennensignal adaptiv auf das Ziel zu lenken, sondern auch, um mehrere Strahlen zu unterstützen, damit viele Nutzer gleichzeitig versorgt werden können. Satelliten in der Umlaufbahn stellen besondere Anforderungen an die Auswahl der Komponenten, insbesondere an die Frontend-Komponenten, welche die Antennenelemente mit den Sende- und Empfangssignalketten verbinden. Hier nun werden die Designüberlegungen für die Auswahl von Frontend-Komponenten (Verstärker) in solchen Systemen untersucht.

Der Wechsel von GEO zu LEO

GEO Satelliten boten gute Dienste – warum also der Wechsel? Nun, trotz der Nachteile der hohen Startkosten hatten GEO-Satelliten einen wesentlichen Vorteil: Sie befanden sich in einer festen Position am Himmel, da die Umlaufbahn mit der Erdrotation synchronisiert war. Dies ermöglichte den Einsatz von Satellitenantennen mit fester Ausleuchtung und von

relativ kostengünstigen VSAT-Terminals mit Parabolantennen auf der Erde – wichtige Voraussetzungen für Datendienste und vor allem für Satellitenfernsehen (Direct-to-Home, DTH). Satelliten in GEO haben die größte Erdbedeckung (Bild 2), wobei nur drei GEO-Satelliten erforderlich sind, um eine globale Abdeckung zu gewährleisten.

Trotz der genannten Vorteile von GEO hat die Entwicklung hin zu Satelliten in LEO mehrere Hauptgründe, die sich hauptsächlich auf die Entwicklung der Kommunikationsnetze konzentrieren. Wir leben in einer hochgradig vernetzten Welt, aber in der Realität lebt ein erheblicher Teil der Weltbevölkerung in Gebieten, die entweder nicht oder nur unzureichend mit Internet-Anschlüssen versorgt sind.

GEO-Satelliten, die auf einer äquatorialen Ebene positioniert sind, bieten beispielsweise nur einen eingeschränkten Dienst in den Polarregionen. Umfangreiche Satellitenkommunikations-Konstellationen im LEO können diese Gebiete mit relativ hohen Übertragungsgeschwindigkeiten versorgen. Für Gebiete, die bereits über eine Internet-Anbindung verfügen, versprechen LEO-Konstellationen sogar noch höhere Datenraten – gleichwertig mit Glasfaserverbindungen – sowohl für private Nutzer als auch für Unternehmen.

Die Größe der vorgeschlagenen LEO-Konstellationen, einschließlich einiger

Redundanz, bringt aufgrund der höheren Anzahl verfügbarer Satelliten eine bessere Netzwerkstabilität mit sich. Diese Resilienz ist sowohl für staatliche und militärische Nutzer als auch für die kommerzielle Welt von Interesse. Schließlich bedeuten die niedrigeren Herstellungs- und Startkosten, dass ein Satellitennetzwerk leicht aufgerüstet werden kann, sobald eine neue Technologie zur Verfügung steht.

Satellitenumlaufbahnen

Eine Nicht-GEO-Konstellation wird mit Satelliten in bestimmten Umlaufbahnen oder in einer Mischung von Umlaufbahnen konfiguriert. Zu den gängigeren Umlaufbahnen gehört die äquatoriale Umlaufbahn (die von der SES-O3b-mPOWER-Konstellation in MEO genutzt wird), bei

der die Satelliten im Allgemeinen dem Äquator folgen. Außerdem die geneigte Umlaufbahn, die gegenüber der äquatorialen Umlaufbahn um einige Grad abweicht und von Westen nach Osten in der gleichen Richtung wie die Erdrotation verläuft, und die polare Umlaufbahn, bei der jeder Satellit einem bestimmten Längengrad folgt, bei der Umlaufbahn beider Pole (z.B. OneWeb).

Mehrere der großen LEO-Konstellationen, wie Telesat Lightspeed und SpaceX Starlink, nutzen eine Mischung aus geneigten und polaren Umlaufbahnen, um eine optimale Abdeckung der nördlichen Regionen zu gewährleisten, da geneigte Umlaufbahnen nur bis zu einem bestimmten Breitengrad funktionieren können. Polare Orbits bieten die beste globale Abdeckung der drei Orbit-Kategorien, werden aber aufgrund des zusätzlichen Treibstoffverbrauchs für die Positionierung in erster Linie für die zusätzliche Abdeckung der nördlichen Breiten in Kombination mit den Umlauf-Hüllen der Satelliten in geneigten Orbits verwendet. Polare Umlaufbahnen sind auch stärker kosmischer Strahlung ausgesetzt. Die Satelliten sind in kreisförmigen Ebenen angeordnet, die jeweils eine konstante Höhe über der Erde aufweisen. Die Größe der Konstellation ergibt

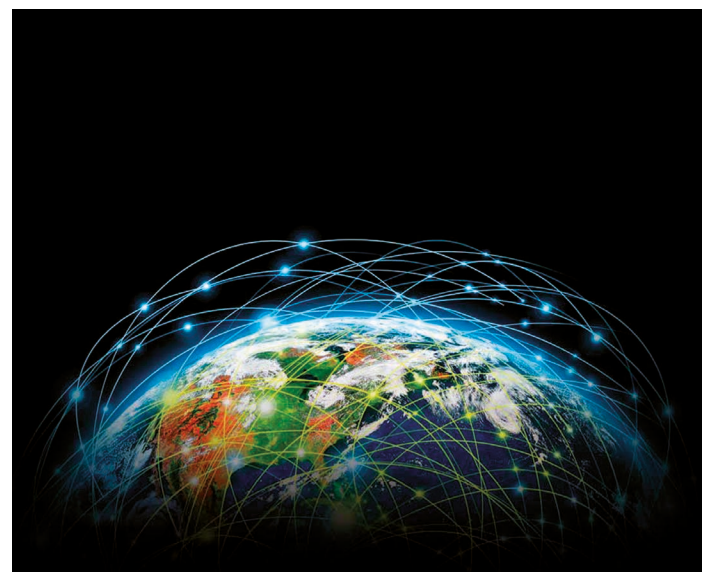


Bild 3: Kombination von Orbit-Konfigurationen für LEO-Konstellationen

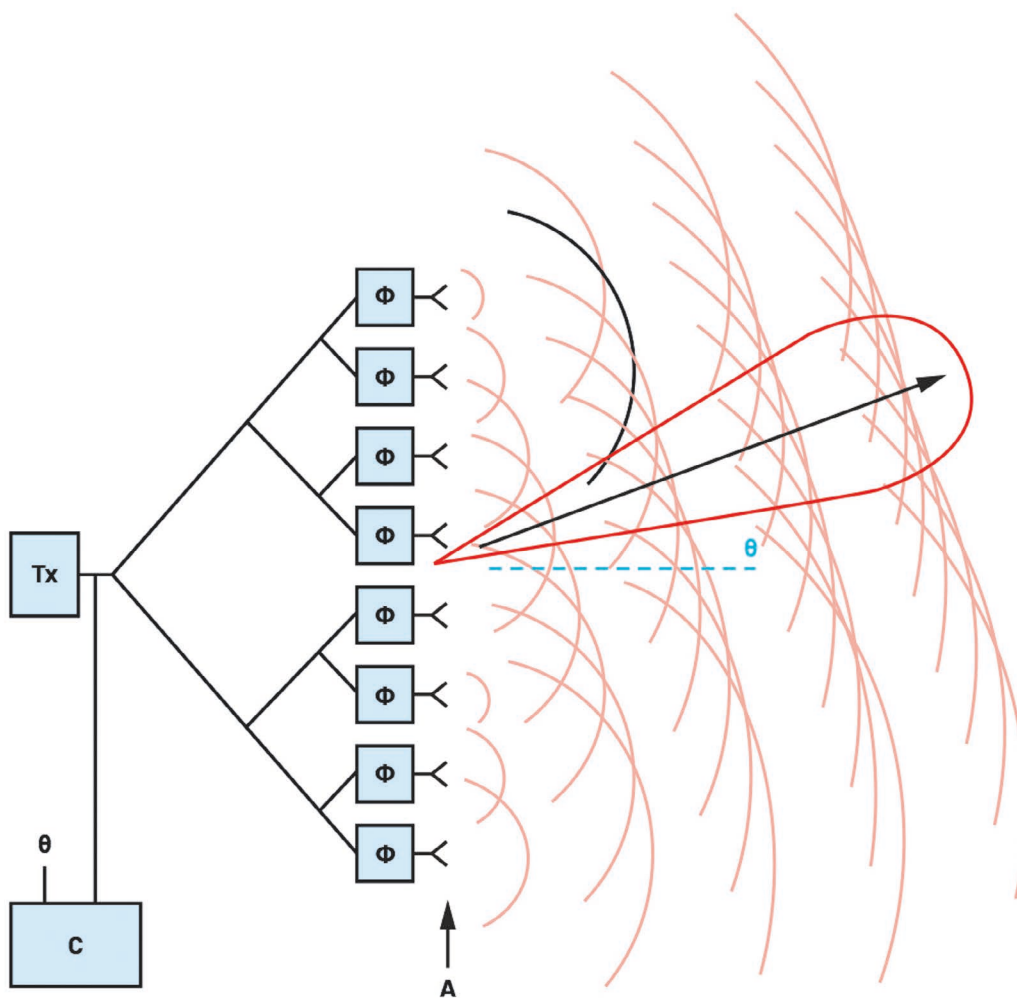


Bild 4: Konzept der Strahlsteuerung mit einem eindimensionalen Array nach Keith Benson

sich aus der Anzahl der Ebenen multipliziert mit der Anzahl der Satelliten pro Ebene (Bild 3, es können auch einige zusätzliche Satelliten als Backup für Redundanz verwendet werden)

Hinweis: Telesat Lightspeed wurde ursprünglich für eine Datenkapazität von 15 Tbit/s mit 294 Satelliten entwickelt. Ein typisches VHTS würde eine Datenkapazität von 2 bis 3 Tbit/s bieten (2022).

Zugang zur LEO-Konstellation

Einige Konstellationen haben hunderte, in manchen Fällen tausende von Kleinsatelliten in den LEO gebracht oder planen dies. Satelliten im LEO bieten zwei deutliche Vorteile für die Satellitenkommunikation gegenüber GEO-Verbindungen. Erstens ist die Latenzzeit der Signale auf-

grund der Höhe der Umlaufbahn geringer. Der Signallaufzeit von der Erde zu einem LEO-Satelliten ist viel kürzer (~1/35 des Weges eines GEO-Satelliten), wodurch sich die Signallatenz um eine Größenordnung auf ~25 ms verringert, was es der LEO-Satellitenkommunikation nach Ansicht einiger ermöglichen wird, an der Erweiterung der 5G-Dienste teilzunehmen, die datenintensive Echtzeitdienste versprechen.

Der zweite Vorteil besteht darin, dass sich die Datenkapazität eines einzelnen LEO-Satelliten auf ein viel kleineres Gebiet konzentriert, sodass einzelne Nutzer möglicherweise eine viel größere Datenbandbreite erwarten können – vorbehaltlich der Gesamtdatenkapazität der Konstellation. Innerhalb des Ausleuchtungs-

bereichs erzeugt der Satellit in der Regel mehrere Downlink-Beams, um eine Verbindung zu vielen Nutzern/Hubs herzustellen. Diese räumlich getrennten Strahlen ermöglichen die Wiederverwendung zugewiesener Frequenzen, wodurch Interferenzen zwischen den Strahlen vermieden und die Datenverfügbarkeit optimiert werden kann.

Satelliten mit hohem Datendurchsatz (High Throughput Satellites, HTS und vHTS) können diese Datenkonzentration ebenfalls bieten; die Gesamtdatenkapazität eines GEO-Satelliten ist jedoch geringer als die einer typischen LEO-Konstellation. Eine Einschränkung für große Konstellationen mit hoher Datenkapazität besteht darin, dass nur ein Bruchteil (33% bis 50%) dieser Gesamtdatenkapazität den Nutzern gleichzeitig zur Verfügung steht, da viele der Satelliten der Konstellation über Ozeanen oder unbewohnten Gebieten der Erde fliegen.

zität den Nutzern gleichzeitig zur Verfügung steht, da viele der Satelliten der Konstellation über Ozeanen oder unbewohnten Gebieten der Erde fliegen.

Auswirkungen der Konstellationsgröße auf Kosten und Missionsdauer

Der Bau von Satelliten für Konstellationen ist dank der Massenproduktion und der Verwendung kostengünstigerer, nicht hermetisch dichter, oft kunststoffgepackelter Komponenten aufgrund der kürzeren Missionsdauer und der weniger rauen Strahlungsumgebung günstiger. Die Lebensdauer von LEO-Satelliten beträgt in der Regel fünf bis sieben Jahre, da wegen des größeren Luftwiderstands für die Aufrechterhaltung der Umlaufbahn mehr Treibstoff benötigt wird. Aufgrund der geringeren Größe der LEO-Satelliten haben diese aber nur eine begrenzte Treibstoffkapazität. Die Anforderungen an die Strahlungstoleranz sind für LEO-Satelliten in der Regel geringer. So kann der akzeptable Wert für die Gesamtionisierungsdosis (Total Ionizing Dose, TID) eines Bauteils, das in einem LEO-Satelliten verwendet werden soll, im Bereich von 30 krad liegen, während für eine GEO-Mission aufgrund der längeren Lebensdauer und der höheren Strahlenbelastung in der Regel 100 krad erforderlich sind.

Herausforderungen durch LEO und Schlüsseltechnologien

Die Verwaltung des Datendurchsatzes zur Konstellation ist komplexer geworden. Die Daten werden von der/den Bodenstation/en durch die Konstellation über Inter-Satellite-Links (ISL) geführt, die entweder Funk- oder optische Verbindungen nutzen. Dies ist notwendig, da LEO-Satelliten nicht immer in Sichtweite einer Bodenstation sein können.

Nicht-GEO-Satelliten bewegen sich von der Erde aus gesehen am Himmel, während GEO-Satelliten auf einer festen Position stehen. Eine gewisse

Umlaufgeschwindigkeit ist für die Aufrechterhaltung ihrer Umlaufbahn erforderlich. Aufgrund des erhöhten atmosphärischen Luftwiderstands und der niedrigeren Umlaufbahn müssen LEO-Satelliten schneller fliegen als Satelliten auf höheren Umlaufbahnen. Eine der für die Starlink-Konstellation vorgeschlagenen Satellitenhülle befindet sich in 550 km Höhe über der Erde. In dieser Höhe beträgt die Fluggeschwindigkeit 7,5 km/s, was bedeutet, dass ein einzelner Satellit in dieser Hülle für einen Nutzer nur 4,1 min lang sichtbar ist. Ein Nutzer eines GEO-Satelliten kann eine feste Antenne verwenden, die auf den Satelliten positioniert ist, während ein Nutzer eines LEO-Satellitendienstes eine Antenne verwenden muss, die dem LEO-Satelliten auf seiner Umlaufbahn folgen kann. Ebenso muss die Antenne des Satelliten in der Lage sein, dem versorgtem Gebiet auf der Erde zu folgen, während er sich auf seiner Umlaufbahn bewegt.

Bei MEO-Satelliten wie der O3b-Konstellation wurden mechanisch gesteuerte Antennen verwendet, was aufgrund ihrer geringeren Umlaufgeschwindigkeit möglich ist. LEO-Satelliten müssen eine Form von AESA verwenden, da mechanische Lenksysteme die Anforderungen an die Nachführung nicht erfüllen können. Gleichzeitig mit dem Bedarf an auslenkbaren Strahlen im LEO besteht die allgemeine Forderung nach mehreren Strahlen. Mehrere Strahlen ermöglichen es den Satelliten, den Dienst und den Datendurchsatz für mehrere Datengateways oder versorgte Gebiete zu optimieren. Für LEO-Anwendungen wird eine Antenne benötigt, die die elektronische Steuerung mehrerer Strahlen unabhängig voneinander unterstützen kann. Einige Konstellationen sehen bis zu 16 lenkbare Nutzerstrahlen pro Satellit vor.

Der Schlüssel zur Flexibilität dieser Konstellationen ist die Verwendung von Antennen, die die Strahlsteuerung unterstützen, um die Kommunikati-

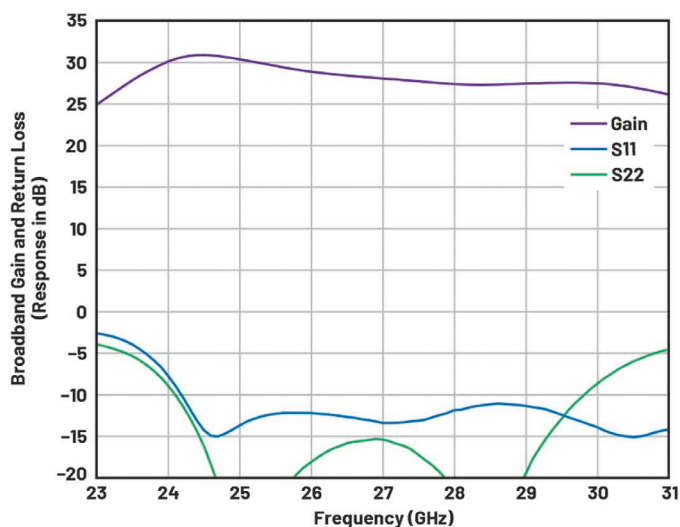
onsverbindungen aufrechtzuerhalten – entweder die primären Satcom/EO-Uplinks/Downlinks oder die sekundären Tracking-, Telemetrie- und Steuerverbindungen (TT&C). Die kumulative Exposition durch ionisierende Quellen kann zu Schwellenwertverschiebungen, erhöhten Leckagen oder Funktionsausfällen von Geräten führen.

AESA und Beamforming

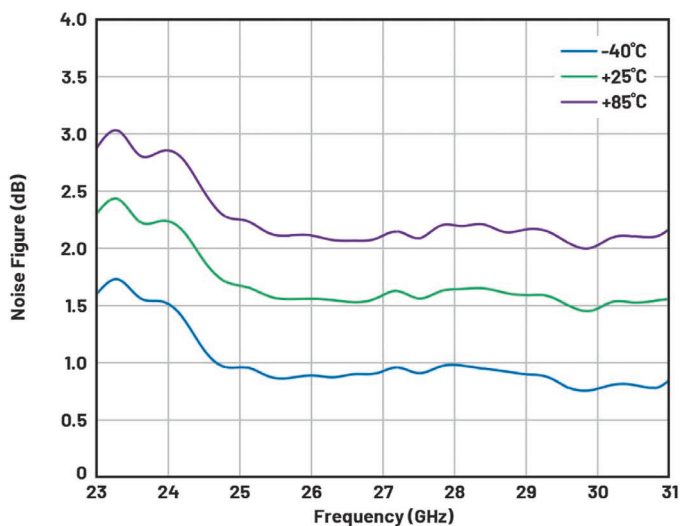
Eine herkömmliche Parabolantenne hat in der Regel eine einzige Einspeisung für den Sender und den Empfänger und wird entweder auf eine feste Position ausgerichtet oder mechanisch gelenkt. Eine elektronisch gesteuerte Gruppenantenne besteht aus mehreren Antennenelementen, deren Strahlungsdiagramme so gestaltet sind, dass sie sich konstruktiv mit denen der benachbarten Elemente in der Gruppe verbinden, um die so genannte Hauptkeule zu bilden, s. Bild 4.

Die Hauptkeule überträgt die Sendeenergie in die gewünschte Richtung. Im Idealfall würde die Hauptkeule die gesamte Sendeenergie abstrahlen, aber ein Teil der Energie bildet Nebenkeulen, die nicht in die gewünschte Richtung senden. Beim Antennendesign wird versucht, die Energie in der Hauptkeule zu maximieren und die der Nebenkeulen zu minimieren. Die Hauptkeule kann durch die Justierung der einzelnen Amplituden und Phasen der Antennenelemente geformt und gesteuert werden. Moderne IC-Technologie kann einstellbare Verstärkung und Phase implementieren, die in der Größenordnung von Mikrosekunden aktualisiert werden können, um eine schnelle Steuerung selbst bei großen Arrays von Elementen für Satelliten- und Luftfahrzeug-Applikationen zu ermöglichen.

Die Reduzierung der Nebenkeulen ist für LEO-Anwendungen von entscheidender Bedeutung, da die Nebenkeulen aufgrund der Nähe des Satelliten zur Erde Interferenzen verursachen können.



(a)



(b)

Bild 5. ADL8142-Verstärkung (oben) und Rauschzahl (unten) vs. Temperatur vs. Frequenz

Auswahl der Frontend-Komponenten für AESA

Satellitenkommunikations-Systeme verwenden Frequenzdivisionsmultiplex (FDD), wobei Sender und Empfänger auf unterschiedlichen Frequenzen arbeiten. Diese Systeme haben meist separate Antennen für Uplinks und Downlinks in den zugewiesenen Frequenzbändern.

Wie bei den meisten Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt und im Verteidigungsbereich sind Größe, Gewicht, Leistung und Kosten (SWaP-C) wichtige Merkmale, die die Wahl der Komponenten in Systemen und Teilsystemen bestimm-

men. Bei Anwendungen in der Erdumlaufbahn sind Größe und Gewicht durch die Startfähigkeit begrenzt, wobei größere und schwerere Systeme wesentlich teurer zu starten sind. Bei großen Konstellationen muss jeder Satellit in einen vorgegebenen Formfaktor passen, der den gleichzeitigen Start mehrerer Satelliten mit nur einer Rakete ermöglicht. Da On-Orbit-Systeme fast ausschließlich auf Solarenergie und Batterie-Backup-Systeme angewiesen sind, ist der Stromverbrauch ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Komponenten.

Für Entwickler von Array-Antennen für On-Orbit-Anwen-

dungen ist es aufgrund der Array-Größe und des Elementabstands erforderlich, dass die Frontend-Komponenten (LNAs für Empfangsantennen; Treiber/PAs für Sendeantennen) so klein wie möglich sind, da jedes Element des Arrays über ein eigenes Frontend verfügt, für das oft mehrere Komponenten erforderlich sind, die so nahe wie möglich an den Antennenelementen platziert werden müssen, um Leitungsverluste zu reduzieren, die direkt zur Rauschzahl beitragen. Eine typische Implementierung besteht aus einem Beamforming-Core-Chip für mehrere Antennenelemente, wobei jedes Element seine eigenen Frontend-Bauteile hat (LNAs für den Empfänger und Treiber und/oder PA für den Transmitter).

Empfangsantennen mit hohem Gewinn können Frontends implementieren, indem mehrere LNAs mit hoher Verstärkung in Reihe geschaltet werden, um den erforderlichen Eingangsgewinn zu erzielen. Die Größe der Bauteile ist in diesem Zusammenhang wichtig, da sich der Abstand zwischen den Elementen mit steigender Frequenz verringert. Im Falle des Ka-Band-Empfängers (26 bis 28 GHz) beträgt der Element-zu-Element-Abstand etwa 5 mm beim Halbwellen-Gitterabstand. Die Beibehaltung der großen Abtastwinkel für LEO-Anwendungen bedingt, dass die Array-Elemente im Halbwellen-Abstand angeordnet werden müssen. Für Antennengruppen, die auf GEO-Plattformen eingesetzt werden, sind die Scan-Anforderungen nicht so kritisch ($\pm 9^\circ$), was mehr Flexibilität bei den Mindestabständen der Elemente ermöglicht. Die neuesten LNA-Formfaktoren in 2×2 mm großen Gehäusen erleichtern die Platzierung kritischer Komponenten, viele enthalten auch DC-Abblockung und HF-Drosseln innerhalb des Gehäuses, um das Layout weiter zu vereinfachen.

Zur Verstärkerwahl

Bei der Auswahl von Verstärkern für On-Orbit-Anwendungen ist deren Leistung entscheidend.

Bei LEO-Satellitenempfangsantennen ist die Rauschzahl (NF in dB) am wichtigsten, da sie zur Rauschzahl des Systems beiträgt, die sich direkt auf die Anzahl der erforderlichen Elemente im Array und damit auf die Antennengröße auswirkt. LEO-Satelliten sind kleiner als GEO-Satelliten, sodass der Platz für die Unterbringung einer Antenne begrenzt sein kann. Für ein typisches Array ist eine Systemrauschzahl von < 2 dB erforderlich, um die Größe des Arrays handhabbar zu halten. Eine Verringerung der Systemrauschzahl um 1 dB ermöglicht eine Halbierung der Anzahl der Antennenelemente, sodass die LNA-Rauschzahl als Beitrag zur Systemrauschzahl entscheidend ist.

Die LNA-Verstärkung ist ebenfalls wichtig, da die Aufnahme und Erhöhung des Empfangssignals eine hohe Verstärkung erfordert. Normalerweise werden mehrere Stufen von Frontend-LNA eingesetzt, um eine ausreichende Verstärkung zu erzielen. Die Kommunikationsverbindungen müssen trotz variabler atmosphärischer Bedingungen aufrechterhalten werden, daher ist die Linearität der Frontend-Komponenten (gemessen am Ausgangs-IP3) ein wichtiger Parameter. Während die Höhe des Empfängersignals weitgehend von der sendenden Bodenstation bestimmt wird, ist die Linearität des Empfängers wichtig, um die maximal möglichen Datenraten (bei Verwendung komplexer Modulationsverfahren) aufrechtzuerhalten.

ICs wie der ADL8142 (Low Power Ka-Band-LNA) können ihre Linearität durch Anpassung der Leistungsaufnahme (IDQ) skalieren, um Schwankungen im Empfangspfad auszugleichen. Für Sendeantennen kann das Frontend ein Treiberverstärker oder eine PA sein. Auch hier ist die Linearität von entscheidender Bedeutung, um die höchstmöglichen Übertragungsraten zu gewährleisten, aber auch hier bestimmt die Ausgangsleistung (OP1dB) die Höhe der Leistung, zu der jedes Antennenelement

beitragen kann. Für Anwendungen in der Erdumlaufbahn ist der Wirkungsgrad (Power Added Efficiency, PAE) des Ausgangsverstärkers aus zwei Gründen wichtig:

1. aufgrund der begrenzten Leistung, die von Solarpanels (oder Batterie-Backup) zur Verfügung steht und
2. weil ineffiziente Verstärker mehr Kühlung benötigen, um die durch die nicht umgewandelte Leistung erzeugte Wärme abzuführen

ICs für Satcom von ADI

Analog Devices hat eine Reihe von Komponenten entwickelt, die die Anforderungen in vielen Applikationen beim Beamforming erfüllen, darunter Satellitenkommunikation, ziviles und militärisches Radar und 5G-Kommunikation. Insbesondere für die Satellitenkommunikation bieten der ADAR3000 und der ADAR3001 On-Satellite-Ka-Band-Sende- bzw. Empfangsbeamforming. Beide verfügen über eine 4-Strahl/16-Kanal-Strahlformungsfunktion mit programmierbarer Zeitverzögerung und Dämpfung. Beide sind in einem kompakten BGA-Gehäuse untergebracht. Als Ergänzung zu den Beamforming-ICs gibt es den

ADAR5000 (4:1 Wilkinson Splitter/Combiner) für die Strahlverteilung, während die Antennen-FE-Optionen den ADL8142 LNA umfassen, der für On-Orbit-Anwendungen im Ka-Band (23 bis 31 GHz) entwickelt wurde.

Der ADL8142 ist mit einem 2×2 mm großen LFCSP/QFN-Gehäuse ausgestattet und für eine niedrige Rauschzahl (1,6 dB), hohe Linearität (20 dBm OIP3) und hohe Verstärkung (27 dB) bei einer Verlustleistung von nur 50 mW aus einer Spannungsversorgung von nur 1,5 V optimiert, s. Bild 5 mit Details zur Verstärkung und Rauschzahl des ADL8142. Der ADL8142 ist sowohl in COTS- als auch in kommerziellen Raumfahrtversionen erhältlich. Auf der Sendeseite können Komponenten

wie der ADL8107 (8 bis 15 GHz, 28 dB Verstärkung, 19 dBm P1dB) oder der HMC498 (17 bis 24 GHz, 22 dB Verstärkung, 26 dBm P1dB) mit ihrer hohen Verstärkung und Linearität als Elementtreiber verwendet werden.

Referenzen

Keith Benson. "Phased Array Beamforming ICs Simplify Antenna Design." Analog Dialogue, Vol. 53, No. 01, January 2019.

ADL8142 data sheet. Analog Devices, Inc., 2022.

ADL8107 data sheet. Analog Devices, Inc., 2022.

Wer schreibt:

Jim Ryan ist Produktmarketingmanager bei der Space Products Group mit Sitz in Limerick, Irland. Er hat einen B.Sc. (Elektronik) und einen M.Eng. (Computersysteme) von der University of Limerick sowie einen MBA-Abschluss von der Open University (UK). Er ist seit über 30 Jahren bei Analog Devices tätig, u. a. in den Bereichen Testtechnik, Produktanwendungen und Marketing sowie in einer Reihe von Produkttypen, darunter Präzisionswandler, A/V- und HF-Produkte für Konsumenten. ◀

LEO, GEO, MEO

LEO ist definiert als der Bereich zwischen ~160 und 2000 km über der Erdoberfläche.

GEO ist definiert als eine Höhe von 35.786 km (22.236 Meilen) über der Erdoberfläche.

MEO liegt zwischen LEO und GEO – die O3b-mPower Konstellation z.B. befindet sich beispielsweise in einem MEO in 8000 km Höhe über der Erdoberfläche.