Auswirkung auf viele Branchen:

5G verleiht der mmWave-Technologie Auftrieb

In diesem Artikel geht es darum, wie verschiedene Branchen ihre Vorteile aus der gemeinsam genutzten Technik ziehen und wie sie darauf reagieren.

Die Technik verwendet immer höhere Frequenzen, um neue Möglichkeiten zu realisieren und deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Gerade an die Frequenzen im Millimeterwellen-Bereich (mmWave) knüpft man die Hoffnung, einige der schwierigsten Anforderungen in vielen Industriezweigen, darunter die Kommunikations- und Rüstungsindustrie, zu erfüllen. 5G-Kommunikationssysteme etwa profitieren von der jahrelangen Forschungsarbeit von Rüstungsunternehmen, die zwar auf andere Anwendungen zielten, aber ähnliche Anforderungen zu erfüllen haben. Bei den Telekommunikationsverbindungen, deren Datenratenbedarf ständig die Fähigkeiten der existierenden Techniken übertrifft, gehen die Lösungen auf 28 und 38 GHz über.

Ein Ergebnis dieser verstärkten Entwicklung von ICs für hohe Frequenzen ist, dass es die Militärs mit immer mehr Technologien zu tun haben. Anwendungen, wie beispielsweise die Bergung eines in Not geratenen Crew-Mitglieds auf See, profitieren von der verbesserten Auflösung von Hochfrequenz-Radarsystemen, die Objekte deutlicher auflösen können. Hinzu kommt, dass viele der für Telekommunikationszwecke entwickelten ICs kostengünstig und für die Massenproduktion geeignet sein müssen, damit sie leichter einsetzbar sind. Ein Nebenprodukt all dieser Aktivitäten ist übrigens der Bedarf an Prüfinstrumenten, mit denen sich verifizieren lässt, dass die Lösungen im gesamten Anwendungsbereich korrekt funktionieren.

Hier nun geht es darum, wie verschiedene Branchen ihre Vorteile aus der gemeinsam genutzten Technik ziehen und wie sie darauf reagieren. Ebenso wird beschrieben, wie mmWave-Frequenzen dazu beitragen, die Herausforderungen von heute zu bewältigen. Den Abschluss bildet eine Beschreibung von ADI-Technologie, mit der dies möglich ist.

Die verflochtene Welt der drahtlosen Elektronik

Es geschieht häufig, dass ein Industriezweig etwas von einer Technik hat, die eigentlich für eine Anwendung einer anderen Branche entwickelt wurde. Der Mikrowellenofen etwa wird allgemein einem Ingenieur zugeschrieben, der an Radarsystemen arbeitete und feststellte, dass sein Mittagessen während der Tests heiß wurde. Etwas ähnliches passiert heute mit der 5G-Telekommunikation: hier versucht man die Vorzüge umzusetzen, die die Rüstungsindustrie mit den Phased-Array-Antennen realisiert hat. Es ist außerdem sehr wahrscheinlich, dass die Rüstungsbranche umgekehrt neue Techniken nutzen können wird, die durch die Fortschritte im 5G-Bereich möglich wurden, sodass eine wechselseitige Beziehung zwischen beiden Branchen entsteht.

Auch die Satellitenkommunikation macht derzeit einen technischen Wandel durch, indem sie von den bisherigen GEO-Satelliten (Geosynchronous Equatorial Orbit) oder auch geostationären Satelliten auf LEO-Satelliten (Low Earth Orbit) übergeht, die einen größeren Datendurchsatz mit einer besseren Abdeckung des Planeten verbinden. Dieses Konzept reicht von einem oder wenigen GEO-Satelliten, die die Erde umkreisen, bis zu potenziell tausenden Satelliten, die ein ganzes Netzwerk bilden. Es gibt derzeit zahlreiche Betreiber, die daran arbeiten, neue LEO-Konstellationen für die Versorgung mit Breitband-Internet zu realisieren. Bei vielen der Unternehmen, die sich als Lieferanten dieser Satelliten bewerben, handelt es sich um genau die Rüstungsunternehmen, welche die für militärische Aufklärungs- und Kommunikationsanwendungen eingesetzten GEO-Satelliten perfektioniert haben.

Dieser Trend, von einer Technik zu profitieren, die eigentlich für einen ganz anderen Zweck geschaffen wurde, war auf verschiedenen Märkten zu beobachten, und es wird ihn auch in den nächsten Jahren weiter geben. Wenden wir uns nun aber der Frage zu, weshalb mmWave-Frequenzen sowohl in der Rüstungs- als auch in der Kommunikationstechnik hilfreich sind.

Höhere Datenraten

Höhere Frequenzen ermöglichen höhere Datenraten und größere Kommunikationsbandbreiten.

Die wachsende Verbreitung der Mobilkommunikation in den vergangenen 20 Jahren wurde von einer zunehmenden Nachfrage nach immer höheren Datenraten begleitet. Alle paar Jahre wurde ein neuer Mobilfunkstandard eingeführt, der neue Protokolle definierte, um den Datendurchsatz zu steigern. Diese Durchsatzverbesserungen hingen oft-

Analog Devices
www.analog.com

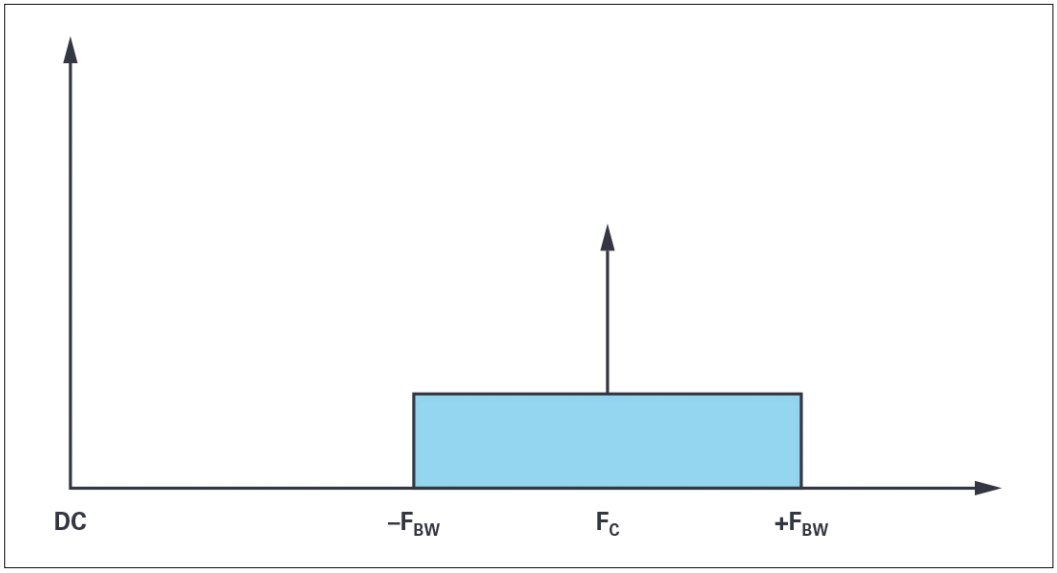

Bild 1: Um die Trägerfrequenz zentrierte Modulationsbandbreite

mals mit ausgefeilteren Modulationsverfahren zusammen, die mehrere Informationselemente gleichzeitig übertragen können. Mit der Ausgefeiltheit der Modulationsschemata wuchs die Fähigkeit, immer mehr Daten zu übertragen. Man kommt dabei allerdings irgendwann an einen Punkt, von dem an eine weitere Anhebung der Modulationskomplexität keine nennenswerte Verbesserung des Durchsatzes mehr bewirkt. Eine häufig angewandte Methode zur Modulation eines Signals ist es deshalb, es über einen Bereich von Frequenzen in der Umgebung der Trägerfrequenz zu verteilen. Dementsprechend besteht eine weitere Möglichkeit zur Steigerung des Datendurchsatzes darin, die Bandbreite des modulierten Signals (FBW) zu erhöhen, indem man es über einen größeren Frequenzbereich verteilt. Um aber das Ausmaß, um das wir das Signal ausbreiten können, fortlaufend zu vergrößern, müssen wir die Trägerfrequenz (f_c) anheben, damit sie nicht unter 0 Hz liegt. Die Fähigkeit, durch die Verwendung höherer Frequenzen mehr Daten gleichzeitig zu übertragen, treibt die Anwendungen also in Richtung der mmWave-Frequenzen voran.

Bild 1 skizziert die um die Trägerfrequenz zentrierte Modulationsbandbreite.

Elektronische Kampfführung und 5G

Heutige militärische Konflikte werden zunehmend gewissermaßen elektronisch ausgetragen, was das Konzept der elektronischen Kampfführung hervorgebracht hat. Zu deren Schlüsselkomponenten gehört wiederum das Radar, bei dem einfach ein Signal ausgesendet und auf dessen Echo gewartet wird, wobei das Sichtfeld des jeweiligen Radarsystems abgetastet wird. Radarsysteme, die seit mehr als hundert Jahren entwickelt werden, haben den entscheidenden Vorteil, dass sie Objekte erkennen können, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben. Ein mit Radar ausgerüsteter Akteur hat damit einen gravierenden Vorteil gegenüber einem Gegner ohne Radar. Aus diesem Grund wurde die Radartechnik über viele Jahre hinweg ständig weiterentwickelt, was dazu geführt hat, dass wir das Radar heute nicht nur für die Wettervorhersage und die Luftverkehrsüberwachung nutzen, sondern auch für neue Anwendungsgebiete wie die Automobilindustrie, wo per Radar die Entfernung zwischen einem Auto und einem Objekt ermittelt wird.

Beispielsweise im UHF- und VHF-Bereich arbeitende Radarsysteme wurden für die Frühwarnung über sehr große Entfernungen eingesetzt, während schnell fliegende Luftfahrzeuge mit Systemen im X-Band (8 bis 12 GHz) ausgerüstet werden, die eine höhere Auflösung bieten und mit kleineren Antennen auskommen. Radarsysteme, die in Kampfjets für den Abschuss und die Zielführung von Raketen genutzt werden, arbeiten häufig im Ka-Band (33 bis 37 GHz), und inzwischen sind für Lenkmunition und Raketen Entwicklungsaktivitäten bei 94 GHz im Gange.

Der Umstieg auf höhere Frequenzen bei Radarsystemen hat mehrere Vorteile. Diese manifestieren sich beispielsweise in der Entfernungs- und Winkelauflösung, die über die Fähigkeit zur Auflösung eines Objekts entscheiden. Der erste Pluspunkt, den der Wechsel zu höheren Frequenz mit sich bringt, besteht aber darin, dass eine bestimmte Winkelauflösung mit einer kleineren Antenne erzielt werden kann, was wiederum entscheidend dafür ist, dass das System auch in kleiner Munition untergebracht werden kann. Umgekehrt ist es mit höheren Frequenzen möglich, bei gleicher Antennengröße eine höhere Winkelauflösung zu erzielen. Die Entfernungsauflösung eines Radarsystems ist proportional zur Modulationsbandbreite und wird, wie bereits erläutert, mit zunehmender Frequenz besser. Wenn Anwendungen also nach mehr Auflösung verlangen, ist der Umstieg auf höhere Frequenzen ebenfalls von Vorteil.

Systeme für die elektronische Kampfführung arbeiteten traditionell mit Frequenzen zwischen 2 und 18 GHz, also im S-, C-, X- und Ku-Band. Da das Spektrum der möglichen Bedrohungen wächst, wird auch mehr Elektronik benötigt, um diese zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Das mit 28 und 39 GHz arbeitende 5G-Equipment kommt den für die Lenkung von Raketen genutzten Ka-Band-Frequenzen bereits sehr nahe. Die Anforderungen an Systeme für die elektronische Kampfführung werden also künftig ausgeweitet werden, um auch die 5G-Frequenzen von 24 bis 44 GHz abzudecken, und es wird für eben diese Frequenzen weit mehr Elektronik geben, die dem Militär für den Einsatz im Kampf zur Verfügung steht.

Sehr oft besteht die Hauptaufgabe der elektronischen Kampfführung darin, Bedrohungen zu erfassen und sie auf elektronischem Weg zu stören, dabei aber selbst unentdeckt zu bleiben. Da Bedrohungen auf den verschiedensten Frequenzen erfolgen können, muss das Equipment zu deren Erfassung, ebenso wie die Ausrüstung für deren anschließende Störung, einen weiten Frequenzbereich abdecken.

Eine wichtige Technik in Rüstungsanwendungen hat sich auch für die 5G-Telekommunikation als wünschenswert erwiesen. Aufgrund mehrerer Eigenschaften sind nämlich Phased-Array-Antennen für 5G-Anwendungen günstig. Anzuführen ist hier unter anderem die Fähigkeit, mehrere Datenströme oder Abstrahlungsmuster zu senden. Im militärischen Bereich kann damit ein Kampfjet beispielsweise mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen, während es in der 5G-Telekommunikation möglich ist, Daten zur gleichen Zeit an

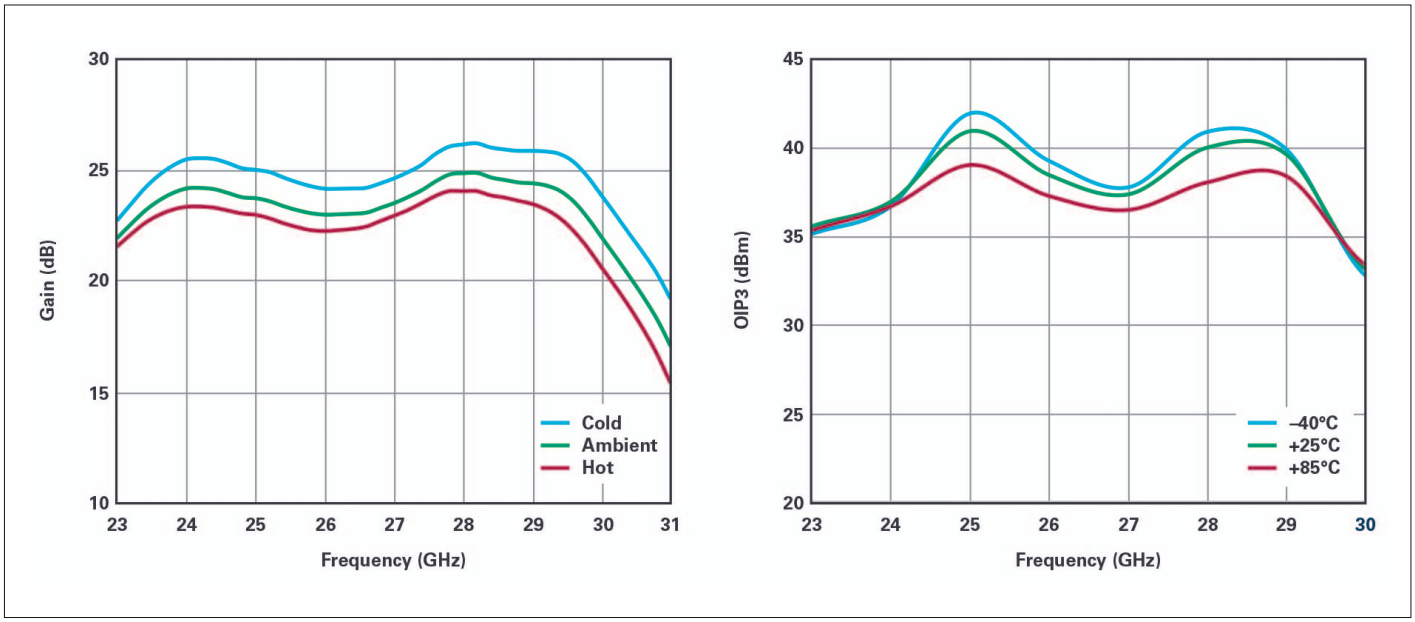

Bild 2: Gemessene Verstärkung (links) und OIP3-Werte des HMC863A für verschiedene Temperaturen

mehrere Teilnehmer zu übertragen. Ebenso wünscht man sich in Rüstungsanwendungen die Möglichkeit, die Energie gezielt in eine Richtung zu lenken, um die Wahrscheinlichkeit, dass das Signal abgefangen und gestört wird, zu verringern. In der Telekommunikation lässt sich mit dieser Fähigkeit eine Senkung des Stromverbrauchs erzielen, weil die Informationen stärker gebündelt an den jeweiligen Teilnehmer gerichtet werden können.

Beide Anwendungen profitieren von der Fähigkeit, den Strahl nahezu verzögerungsfrei neu auszurichten. Es gibt darüber hinaus jedoch noch viele weitere Vorteile, welche die Telekommunikations- und die Rüstungsindustrie zu schätzen wissen und die diese Technik attraktiv machen.

Die Auswirkungen von 5G auf den IC-Sektor

Unsere heutige Welt ist in hohem Maße von der mobilen Kommunikation abhängig. Die fortschrittliche Technik, die diese 5G-Mobilfunk-Infrastruktur unterstützt, stellt, wie das Aufmacherbild verdeutlicht, ein bedeutendes Wachstumssegment für viele Anbieter von Telekommunikations-Equipment und für deren IC-basierte Lieferkette dar. Dieses beträchtliche Wachstumspotenzial hat Anreize für Investitionen von Millionen, möglicherweise sogar von Milliarden Dollar geschaffen, um diese Produkte der nächsten Generation zu realisieren. Entscheidende Bauelemente dieser Systeme sind jene ICs, die die Daten durch die Netzwerke leiten. In der Grafik ist erkennbar, dass sich sämtliche Aspekte der IC-Lieferkette anpassen und weiterentwickeln. Von den am Anfang stehenden Foundry-Prozessen bis zu den Lösungen zum Testen der finalen Produkte erleben wir erhebliche Innovationen in der Technologie, die zur Unterstützung dieser Erzeugnisse dient.

Die verschiedenen Halbleiterschmieden, die Wafer-Fertigungsdienste anbieten und damit das Basismaterial für die ICs erzeugen, arbeiten fortlaufend an Innovationen. Viele Foundry-Unternehmen haben neue Prozesstechnologien entwickelt, um wettbewerbsfähig zu bleiben und der neuen 5G-Technik den Weg zu ebnen. Als ein Beispiel für eine solche Verbesserung ließe sich die Umstellung auf die kosteneffektivere optische Lithografie anstelle der Elektronenstrahl-Lithografie anführen. Ein weiterer Pluspunkt könnte die Integration neuer Funktionalität in einen Prozessknoten sein, um auf diesem überaus preisbewussten Markt konkurrieren zu können.

Mit der Verfügbarkeit neuer Prozesstechnologien entwickelt sich auch das IC-Design weiter. Wenn in einem Prozessknoten neue Funktionalität verfügbar wird, bekommen IC-Designer die Möglichkeit, bestimmte Features in einem Produkt zu kombinieren oder aus den grundlegenden Transistoren mehr Leistungsfähigkeit herauszuholen, als es bisher möglich war. Unter dem Strich resultieren diese Trends in Chips, die einen höheren Integrationsgrad haben und sich einfacher einsetzen lassen. Beim Umstieg auf mmWave-Frequenzen erweist sich die Fähigkeit als attraktiv, kostengünstige Gehäuse zu nutzen, die eine einfachere Montage erlauben.

Traditionelle, mit mmWave-Frequenzen arbeitende Baugruppen für die Rüstung wurden nach dem Chip&Wire-Verfahren zusammengebaut. In einem kleinen Metallgehäuse wurden die Chips per Wire-Bonding miteinander verbunden. Dieses Montageverfahren eignet sich nicht für die Massenproduktion und ist häufig teurer als Oberflächenmontage-Konzepte. Platzknappheit war deshalb in der Vergangenheit der wichtigste Beweggrund für ihren Einsatz. Zunehmende Integration in immer kleinere Gehäuse, verbunden mit wachsender Leistungsfähigkeit, macht allerdings die Oberflächenmontage deutlich attraktiver.

Testlösungen wie etwa der Over-the-Air-Test wurden für Phased-Array-Antennen und ihre ICs bei 28 und 39 GHz zur Realität. Zuvor war man zum Testen einer Phased-Array-Antenne oftmals auf eine Absorberkammer angewiesen, die viel Platz beansprucht und schwierig zu konstruieren und auch teuer ist. Inzwischen werden diese Testlösungen deutlich erschwinglicher und kleiner und sind kommerziell erhältlich. Dementsprechend ist die Zahl der Anbieter, die eine komplette Antennenlösung zu bieten haben, ohne dass größere Investitionen in die Vermessung des finalen Produkts erforderlich sind, deutlich gestiegen. Phased-Array-Antennen sind von einer Technik, die hauptsächlich Rüstungsunternehmen und Universitäten vorbehalten war, mehr und mehr zu einer Mainstream-Lösung geworden. Sie können deshalb nicht

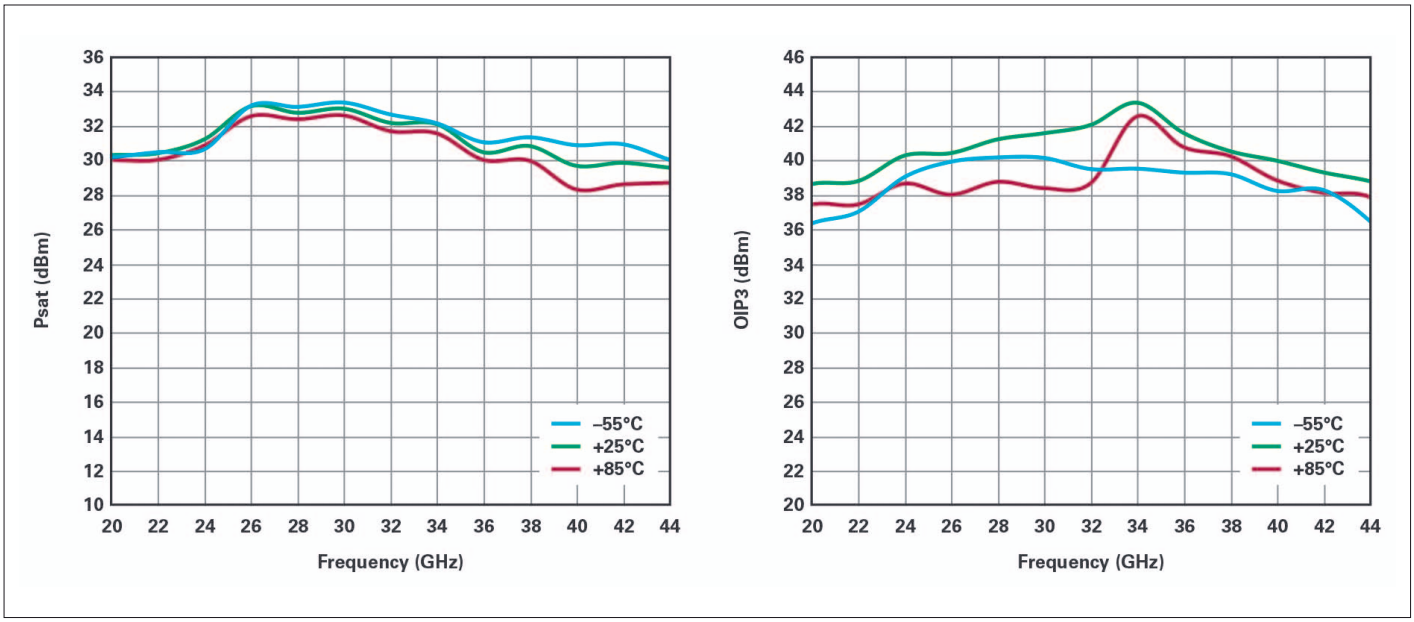

Bild 3: Gemessene gesättigte Leistung (links) und OIP3 des ADPA7005 bei verschiedenen Temperaturen

nur von Telekommunikationsunternehmen genutzt werden, die auf 5G-Anwendungen zielen, sondern erlauben auf dem Rüstungssektor eine bessere Abwehr neuer Bedrohungen. Es ist wahrscheinlich, dass sich bisherige Herausforderungen für erfahrene Antennenkonstrukteure jetzt deutlich schneller bewältigen lassen, da präzise Messtechniken inzwischen kommerziell von normalen Messinstrumente-Anbietern bezogen werden können.

Als Ergebnis dieses Trends können deutlich mehr mmWave-Produkte, die von der Industrie angeboten werden, in Kommunikationsanwendungen und Rüstungsapplikationen eingesetzt werden. Sehr oft stimmen die Produkte, die in der Mobilfunk-Infrastruktur zum Einsatz kommen, in ihren Spezifikationen und ihrer Funktion sehr genau mit dem überein, was von der Rüstungs- und Messinstrumente-Industrie benötigt wird. Genau diese Zunahme bei den umgehend lieferbaren ICs und Testlösungen ermöglicht eine kurze Zeit bis zum fertigen Produkt, was das Ausmaß der Bedrohungen im mmWave-Frequenzbereich für die Rüstungsindustrie deutlich verkleinert.

Wie viele Branchen vom 5G-Effekt profitieren können

Analog Devices hat große Mittel in die Entwicklung von Lösungen für die 5G-Telekommunikation sowie die ebenfalls davon beeinflusste Messinstrumente- und Rüstungsindustrie investiert. Die Produkte für den Telekommunikationsmarkt sind tendenziell für schmälere Frequenzbänder konzipiert, in denen sich die Leistungsfähigkeit einfacher optimieren lässt. Die Rüstungsindustrie verlangt dagegen häufig nach einer breitbandigen Lösung, da sie es mit Bedrohungen auf mehreren, vorher nicht bekannten Frequenzen zu tun hat.

Ein Beispiel ist der Leistungsverstärker HMC863ALC4, der in der 28-GHz-5G-Telekommunikations-Infrastruktur eingesetzt wird, einen Frequenzbereich von 24 bis 29,5 GHz abdeckt und eine HF-Leistung von mehr als 500 mW liefert. Der PA verwendet ein nur 4 x 4 mm messendes oberflächenmontierbares Gehäuse und kommt auf einen Interceptpoint dritter Ordnung von nahezu 40 dBm. Die entsprechenden Diagramme zeigt Bild 2.

Darüber hinaus hat Analog Devices auch Lösungen für den Rüstungs- und Messinstrumentemarkt entwickelt, wie etwa den für Frequenzen von 20 bis 44 GHz konzipierten ADPA7005, der eine Betriebsbandbreite von mehr als einer Oktave unterstützt und über seinen Betriebsbereich hinweg eine gesättigte Ausgangsleistung von mehr als 1 W erzielt. Eine gleich bleibende Verstärkung von nominell 15 dB über den Frequenzbereich ermöglicht eine einfache Integration in das komplette System. Der Interceptpoint dritter Ordnung von über 40 dBm bietet zudem ideale Voraussetzungen für das Messen und Erzeugen hochgradig modulierter Eingangssignale. Die entsprechenden Diagramme sind in Bild 3 zu sehen. ◄

Der Autor

Keith Benson absolvierte ein Elektrotechnikstudium an der University of Massachusetts mit einem Bachelor-Diplom und erwarb 2004 im selben Fach ein Master-Diplom von der University of California in Santa Barbara. Im selben Jahr startete er seine berufliche Laufbahn als Designer von Mikrowellen-ICs bei Hittite Microwave. 2011 wurde er zum Manager einer IC-Design-Gruppe berufen, die sich auf Hochfrequenzverstärker und integrierte Frequenzumwandlungs-ICs konzentrierte. Anfang 2014 übernahme er bei Hittite Microwave die Position des Director of Amplifier Products, Mitte 2014 erfolgte die Übernahme von Hittite Microwave durch Analog Devices, und Benson wechselte in die Funktion eines Product Line Directors für HF/Mikrowellen-ICs und Phased-Array-ICs. Benson ist Inhaber dreier US-Patente im Zusammenhang mit neuartigen Verstärkertechniken. Zu erreichen ist er unter keith.benson@analog.com.