

GaN- und SiC-Leistungsverstärker meistern vielfältige Herausforderungen

Wie Power Amplifiers mit modernen Halbleitertechnologien die Herausforderungen in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Verteidigung, Satellitenkommunikation und 5G-Kommunikation meistern, erfahren Sie hier.



5G-Anwendungen im Millimeterwellen-Bereich

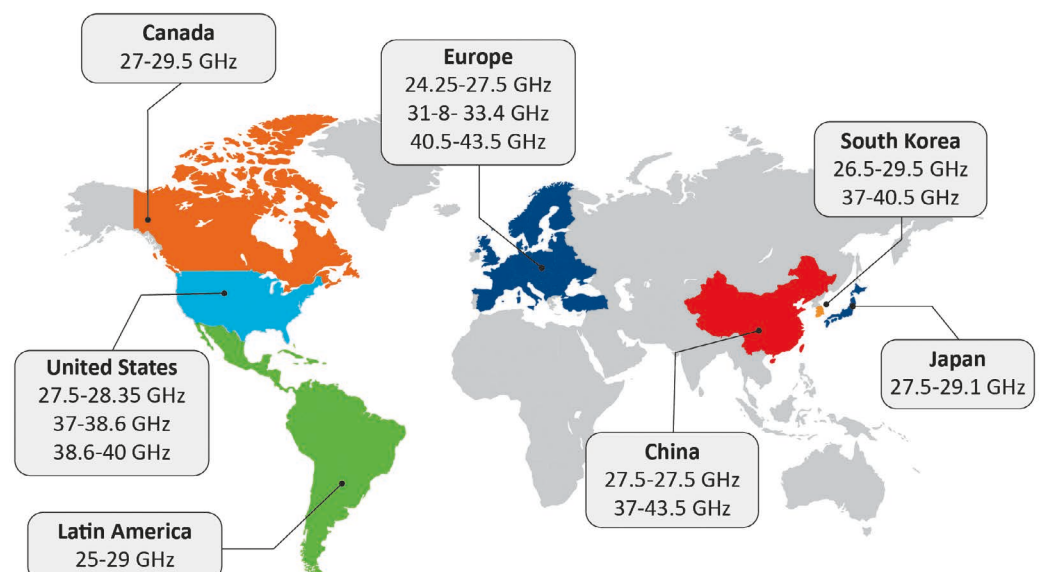
Leistungsverstärker (Power Amplifiers, PAs) sollen ihre nominelle Ausgangsleistung mit hohem Wirkungsgrad und linearer Kennlinie liefern. Und mit der Umstellung auf Modulationsverfahren höherer Ordnung, wie 64/128/256-QAM, müssen die Systeme auch in dichtereren Umgebungen mit

strengen PAPR-Werten (Peak-to-Average Power Ratio: Verhältnis zwischen Spitzenleistung und durchschnittlicher Leistung) hohe Linearität und Effizienz bieten. Eine neue Generation von GaN-on-SiC-MMIC-PAs, also von PAs unter Verwendung von MMICs, bietet sich hier als Lösung an. Bei diesen GaN-on-SiC-MMICs wird während der Fertigung Galliumnitrid (GaN) auf Siliziumkarbid (SiC) aufgebracht. Die neue PA-Generation ist optimal, um eine hohe lineare Ausgangsleistung mit hohem Wirkungsgrad zur Verfügung zu stellen. Dieser Beitrag geht auf die Anforderungen in den Bereichen 5G, Satellitenkommunikation, Luft- und Raumfahrt sowie Verteidigung ein. Dabei berücksichtigt er auch verschiedene Arten von Beamforming-Architekturen.

Chancen und Herausforderungen bei PAs

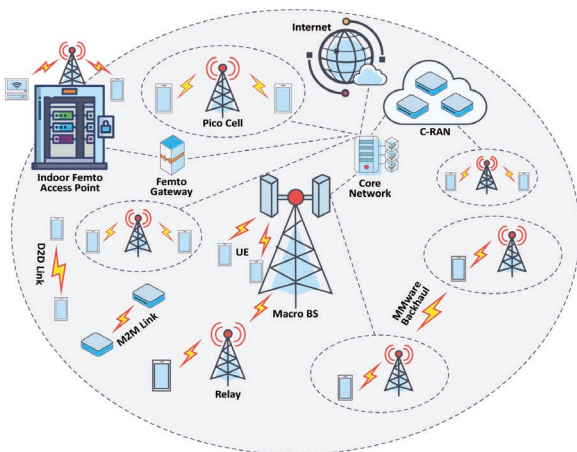
Die größten Wachstumschancen und Herausforderungen für die

HF-Leistungsverstärker liegen in der Satelliten- und 5G-Kommunikation. Die NASA hat es privaten Unternehmen ermöglicht, tausende von LEO-Satelliten in den Weltraum zu schicken, die nun die Erde umkreisen und Breitband-Internetzugang, Navigation, Meeresüberwachung, Fernerkundung und andere Dienste bereitstellen. Diese HF-Anwendungen streben bekanntlich intensiv nach SWaP-C-Vorteilen (Size, Weight, Power and Cost). Große Parabolantennen werden dazu durch Phased-Array-Antennen für die Satellitenkommunikation ersetzt, die kleinere Komponenten für die Integration erfordern und zudem noch eine geringere Masse aufweisen sollen. Eine hohe HF-Leistung, die mit einer linearen Kennlinie und mit hohen Werten bei P1dB und IP3 einhergeht, um Verzerrungen zu reduzieren, ist für diese HF-Anwendungen von elementarer Bedeutung. Gleichzeitig müssen die PAs einen hohen Wirkungsgrad haben und einen hohen



Autor:
Baljit Chandhoke
Produktmanager für
Hochfrequenz-Produkte
Microchip Technology
www.microchip.com

Die weltweit genutzten Frequenzbänder im Bereich 5G mmWave



Architektur eines 5G-Netzwerks, das aus kleinen Zellen und einer Makro-Basisstation besteht

PAE-Wert aufweisen, um den Stromverbrauch zu minimieren.

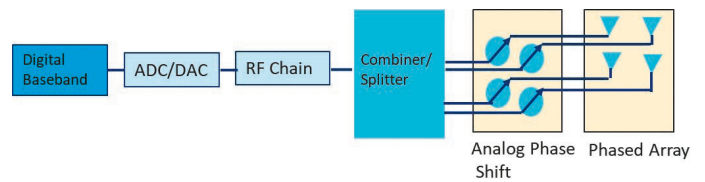
5G-Kommunikation im Millimeterwellen-Bereich

Die neuen Generationen für die 5G-Kommunikation im Millimeterwellen-Bereich erhöhen aufgrund ihrer Geschwindigkeit, der ultrahohen Bandbreite und der geringen Latenzzeit für die Breitband-Kommunikation die Menge an Informationen erheblich, die zur Unterstützung von Entscheidungen in Echtzeit und in anderen militärischen Anwendungen ausgetauscht werden können. 5G-Systeme, die in den niedrigeren Frequenzbändern unter 6 GHz betrieben werden, waren anfällig für Störsignale hoher Leistung, aber 5G-Millimeterwellen-Systeme, die bei Frequenzen von 24 GHz und darüber arbeiten, ermöglichen

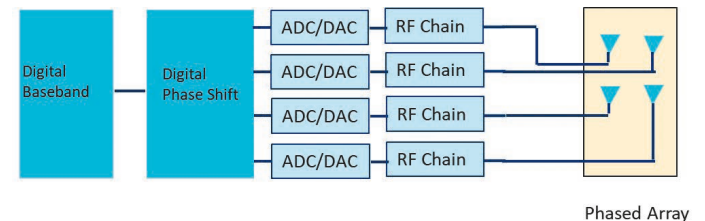
den Einsatz von 5G-Netzwerken sowohl für Anwendungen auf dem Schlachtfeld als auch außerhalb des Schlachtfelds mit dem Frequenzband im Bereich der Millimeterwellen, das nicht so anfällig für leistungsstarke Störsignale ist. Beispiele hierfür sind Sensornetzwerke für die Erfassung von Kommando- und Steuerdaten in der tatsächlichen Kampfzone sowie Augmented-Reality-Displays, die das Situationsbewusstsein von Piloten und Infanteriesoldaten verbessern. 5G wird auch Virtual-Reality-Lösungen für den ferngesteuerten Betrieb von Fahrzeugen bei Einsätzen in der Luft, zu Lande und zu Wasser ermöglichen. Außerhalb des Gefechtsfelds wird 5G eine Vielzahl von Anwendungen in den Bereichen intelligente Lagerhaltung, Telemedizin und Truppentransporte ermöglichen.



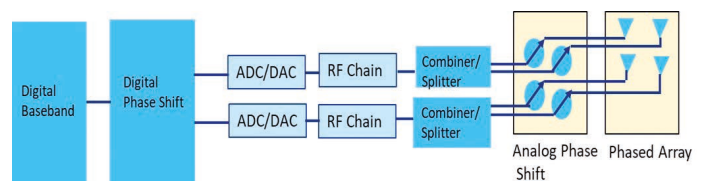
Bei der Radarkommunikation in Marineanwendungen kommen Frequenzen im S-Band, im L-Band, im C-Band sowie im X-Band bis hinauf zum Ku/Ka-Band zum Einsatz.



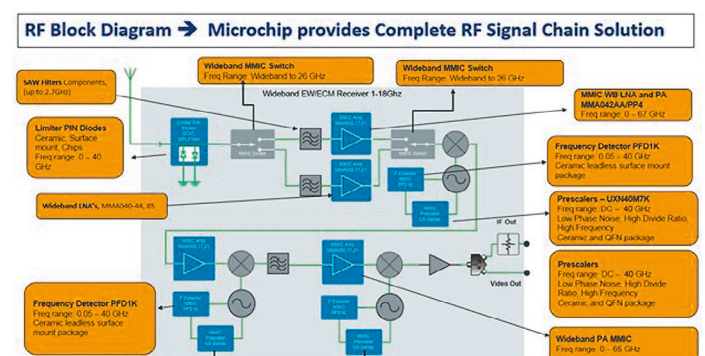
Blockschaltbild für das Analog Beamforming mit vier Phased-Array-Elementen



Blockschaltbild für das Digital Beamforming mit vier Phased-Array-Elementen



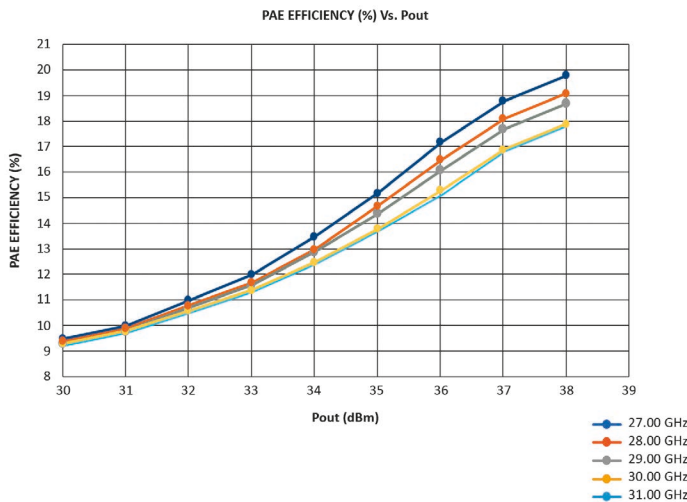
Blockschaltbild für das Hybrid Beamforming mit vier Phased-Array-Elementen



Blockschaltbild der HF-Signale

Die einzelnen Länder arbeiten bei 5G in unterschiedlichen Bändern des Millimeterwellen-Bereichs (mmWave-Band). In den Vereinigten Staaten war 28 GHz das erste 5G-mmWave-Band, das zum Einsatz kam, gefolgt von 39 GHz. China setzt 5G mmWave bei Frequenzen im Bereich 24,25 bis 27,5 GHz ein und ist bei der Einführung von 5G mmWave im Rückstand.

Die Netzwerkarchitektur bei 5G
Das 5G-Netz besteht aus Makro-Basisstationen und kleinen Zellen. Die Makro-Basisstation ist über mmWave-Backhaul- oder Glasfaserverbindungen mit dem Kernnetzwerk verbunden. Makro-Basisstationen können direkt mit den Mobiltelefonen bzw. Endgeräten kommunizieren, aber sie ermöglichen auch die Kommunikation mit den



Der lineare Wirkungsgrad des ICP2840 über Frequenz und Ausgangsleistungspegel

kleinen Zellen, die wiederum mit den Mobil- bzw. Endgeräten kommunizieren und so die Verbindung auf der letzten Meile sicherstellen. Es gibt Pico-Zellen und Femto-Zellen, die jeweils die Netzanbindung innerhalb von Bürogebäuden zur Verfügung stellen, in denen die Verbindung schwach sein kann oder die eine hohe Nutzerdichte herrscht.

Femtozellen werden in der Regel vom Anwender installiert, um die Coverage, also den Bereich der Netztabdeckung innerhalb eines kleinen Bereichs in der unmittelbaren Nähe, zu verbessern, z.B. in einem Heimbüro oder in einem Dead Zone genannten Bereich innerhalb eines Gebäudes, in dem es keine Funkabdeckung (Coverage) gibt. Femtozellen sind nur für eine Handvoll Nutzer ausgelegt und können nur wenige Anrufe gleichzeitig abwickeln; sie haben eine sehr geringe Ausgangsleistung von bis zu 200 mW.

Pikozellen bieten größere Kapazitäten und Abdeckungsgebiete und unterstützen bis zu 100 Anwendungen in einem Umkreis von bis zu 300 m. Pikozellen kommen häufig in Innenräumen zum Einsatz, um die schlechte WLAN- und Mobilfunkabdeckung innerhalb eines Gebäudes zu verbessern. Ein gutes Beispiel hierfür ist eine Büroetage oder ein Einzelhandelsgeschäft. Pikozellen lassen

sich in Erwartung eines hohen Verkehrsaufkommens in einem begrenzten Gebiet auch vorübergehend installieren, z.B. bei einer Sportveranstaltung. Aber Picozellen werden auch als fester Bestandteil von Mobilfunknetzen in einem heterogenen Netz installiert und arbeiten dabei mit Makrozellen zusammen, um eine unterbrechungsfreie Versorgung der Endanwender zu gewährleisten. Picozellen arbeiten mit einer Ausgangsleistung von bis zu 2 W.

Makro-Basisstationen sind große Basisstationen, die große Flächen in Dimensionen von über 1 km abdecken und am Ausgang Leistungen von teils über 100 W zur Verfügung stellen.

Anwendungsbeispiel Radarkommunikation

Radarsysteme arbeiten im L-Band von 1 bis 2 GHz für Anwendungen wie Freund-Feind-Erkennung, Entfernungsmessung sowie Verfolgung und Überwachung. Das S-Band (2 bis 4 GHz) wird für Mode-S-Anwendungen mit selektiver Reaktion und für Wetterradarsysteme verwendet. Im X-Band (8 bis 12 GHz) arbeiten Wetter- und Flugzeugradar, während das C-Band (4 bis 8 GHz) für 5G und andere Kommunikationsanwendungen unter 7 GHz zur Anwendung kommt. 5G mmWave bietet die höchsten Bandbreiten und

Datenraten; derartige Systeme arbeiten im Bereich 24 GHz sowie in höheren Frequenzbändern. Die Satellitenkommunikation für LEOs und geosynchrone Kommunikation erfolgt im K-Band, das sich von 12 bis 40 GHz erstreckt.

RF-Beamforming

Unter RF-Beamforming versteht man die Hochfrequenzkommunikation über einen geformten bzw. in eine Richtung ausgerichteten Hochfrequenz-Sendestrah. Es gibt verschiedene Arten von Architekturen, die das Phased-Array-Beamforming nutzen und in diesen RF-Anwendungen zum Einsatz kommen. Im Einzelnen handelt es sich dabei um analog, digital und Hybrid-Beamforming (eine Mischung aus analoger und digitaler Strahlformung).

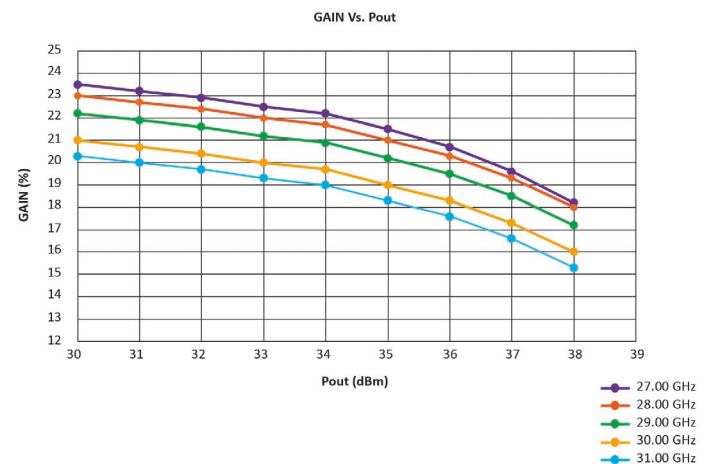
Analog Beamforming

Für jedes Phased-Array ist der ideale Abstand zwischen den Elementen die Hälfte der Wellenlänge. Das Blockschaltbild zeigt: Es gibt dabei vier Phased-Array-Elemente. Bei einem 30-GHz-Signal beträgt der Abstand zwischen den einzelnen Elementen jeweils 5 mm. Dabei übernimmt der Phasenschieber die Strahlformung, indem er die Phase ändert, um eine konstruktive Interferenz für den Empfang und die Übertragung des Signals zu erreichen, sodass er die Energie des Strahls in eine bestimmte Richtung fokussiert. Dies geschieht alles bei der Hochfrequenz und

ist daher sehr empfindlich gegenüber Interconnect-Verlusten. Anschließend geht das Signal vom Phasenschieber zum Power-Combiner/Splitter, gefolgt von einem Aufwärts/Abwärts-Wandler und einem AD/DA-Wandler ins Basisband. In diesem Fall gibt es für n Phased-Array-Elementen nur ein digitales Frontend. Wie im Blockschaltbild zu sehen, ist für vier Phased-Array-Elemente nur ein einziges digitales Frontend erforderlich, das aus einem AD/DA-Wandler besteht. Von Vorteil ist hier die geringstmögliche Anzahl von Bauelementen sowie die niedrigstmögliche Verlustleistung. Da die Phasenverschiebung jedoch in den HF-Bändern erfolgt, ist diese Art der Beamforming-Architektur besonders anfällig für Interconnect-Verluste, während gleichzeitig die Phasenverschiebung besonders komplex ist.

Digital Beamforming

Hier erfolgt eine herkömmliche Aufwärts/Abwärts-Wandlung in der Frequenz des Basisbands, und anschließend entsteht eine digitale Phasenverschiebung. Diese Architektur bietet eine höhere Genauigkeit, weil die digitale Strahlformung bereits im Basisband erfolgt. Allerdings gibt es für jedes Phased-Array-Element einen AD/DA-Wandler, was zu einer großen Anzahl von Komponenten und einer hohen Verlustleistung führt. In diesem Fall gibt es für eine Anzahl von



Lineare Verstärkung des ICP2840 über Frequenz und Ausgangsleistungspegel



Zu den GaN-on-SiC-Leistungsverstärkern in MMIC-Form für das Ku- und das Ka-Band gehört auch der Baustein ICP2840, der eine Dauerleistung (CW) von 9 W im Ka-Band von 27,5 bis 31 GHz für Uplink-Anwendungen zur Verfügung stellt.

n Phased-Array-Elementen eine Anzahl von n digitalen Frontends. Wie aus dem Blockschaltbild ersichtlich ist, existieren für vier Phased-Array-Elemente insgesamt vier digitale Frontends, die jeweils aus AD/DA-Wandlern bestehen.

Hybrid Beamforming

Es ist optimal für größere Phased-Arrays, um so den Wirkungsgrad der analogen Strahlformung mit einer geringeren Anzahl von Elementen, der Verlustleistung und der Präzision der digitalen Strahlformung zu erreichen. Wie im Blockschaltbild zu sehen ist, gibt es für vier Phased-Array-Elemente zwei digitale Frontends, die jeweils aus AD/DA-Wandlern bestehen. Zum Vergleich: Beim analogen Beamforming gab es nur einen einzigen AD/DA-Wandler im digitalen Frontend, während es beim Digital Beamforming vier digitale Frontend-AD/DA-Wandler gab.

HF-Signalkette

Ein Bild zeigt das Blockschaltbild der HF-Signalkette. Am Empfänger kommt das HF-Signal über die Antenne herein, durchläuft eine Begrenzerdiode, gefolgt von einem Schalter, und die gewünschte HF-Frequenz wird über die SAW-Filter ausgewählt. Das gewünschte Signal wird dann durch den rauscharmen Verstärker mit extrem

niedriger Rauschzahl verstärkt, um die Verschlechterung des Signal/Rausch-Verhältnisses des empfangenen Signals zu minimieren. Anschließend wird es mithilfe eines Mischers heruntergewandelt. Das Signal des lokalen Oszillators (LO) wird mit diskreten PLL-Komponenten erzeugt, die aus einem Phasenfrequenz-Detektor und einem Prescaler bestehen, der die LO-Frequenz für den Mischer bereitstellt, um das Signal auf eine Zwischenfrequenz herunterzuwandeln. Als nächstes folgt die Umwandlung von der ZF in das Basisband, in dem die eigentliche Signalverarbeitung erfolgt.

Auf der Senderseite wird das Basisbandsignal auf die Zwischenfrequenz und dann auf die gewünschte HF-Frequenz hochgewandelt. Das HF-Signal wird mit einem Leistungsverstärker verstärkt, um das Signal dann auszusenden.

Leistungsdaten im HF-Bereich

Die Tabelle zeigt die Leistungsdaten im HF-Bereich und die Vorteile für die Komponenten, die in dem HF-Blockschaltbild zur Anwendung kommen.

Anforderungen an Leistungsverstärker

Eine der wichtigsten Anforderungen an PAs besteht darin, dass sie in einem linearen Bereich arbeiten können, um so die Verzerrung des HF-Signals zu

minimieren. Satellitenkommunikationssysteme, die Modulationsverfahren höherer Ordnung wie 64/128/256-QAM verwenden, sind extrem empfindlich gegenüber nichtlinearem Verhalten. Eine weitere Herausforderung ist das Erreichen eines zufriedenstellenden Verhältnisses zwischen Spitzen- und Durchschnittsleistung (PAPR). Es bestimmt, wie viele Daten gesendet werden können, und ist proportional zur durchschnittlichen Leistung. Gleichzeitig hängt die Größe des PAs, der für ein bestimmtes Format benötigt wird, von der Spitzenleistung ab.

Die von der FCC vorgeschriebene effektive isotrope Strahlungsleistung (EIRP) für 5G mmWave umfasst eine Sendeleistung von 43 dBm EIRP für mobile Endgeräte und eine von der Basisstation übertragbare Leistung 55 dBm EIRP. Diese und andere zueinander im Widerspruch stehenden Herausforderungen können nur mit GaN-on-SiC-Leistungsverstärkern bewältigt werden, die für Anwendungen in der Satellitenkommunikation, 5G, in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Verteidigung konzipiert sind.

GaN-on-SiC-Leistungsverstärker

GaN on SiC hat die höchste Leistungsdichte, um eine hohe lineare Ausgangsleistung bei einem hohem Wirkungsgrad

zu erzeugen. GaN-on-SiC-Leistungsverstärker können bei hohen Frequenzen im Ka- und Ku-Band von 12 bis 40 GHz für die Satellitenkommunikation und 5G betrieben werden und weisen große Bandbreiten genauso auf wie einen hohen Verstärkungsfaktor mit besseren thermischen Eigenschaften, sodass sie den Anforderungen von HF-Anwendungen gerecht werden. Microchip bietet HF-Lösungen auf Basis der GaN-on-SiC-Technologie an, welche die SWaP-C-Anforderungen für Bauelemente erfüllen.

Leistungsverstärker für das K-Band aus dem Hause Microchip

Der ICP2840 ist ein Flaggschiff-Baustein, der im Frequenzbereich von 27,5 bis 31 GHz arbeitet und eine kontinuierliche Ausgangsleistung (CW) von 9 W sowie eine gepulste Ausgangsleistung von 10 W mit einer Verstärkung von 22 dB und einem Leistungswirkungsgrad von 22% bietet.

Der ICP2637 weist eine große Bandbreite von 23 bis 30 GHz auf und stellt am Ausgang eine Dauerleistung von 5 W (CW) zur Verfügung. Der Baustein wird sowohl in einem QFN-Gehäuse als auch in Die-Form angeboten.

Der ICP1445 erzeugt im Frequenzband von 13 bis 15,5 GHz eine gepulste Ausgangsleistung von 35 W.

Der ICP1543 arbeitet im Ku-Band von 12 bis 18 GHz und liefert am Ausgang eine Dauerleistung (CW) von 20 W.

Diese PAs haben eine hohe Verstärkung und einen hohen Wirkungsgrad, indem sie die GaN-on-SiC-Technologie nutzen. So erfüllen sie die Anforderungen im Ku/Ka-Band für 5G, Satellitenkommunikation, Luft- und Raumfahrt und Verteidigungsanwendungen. GaN-on-SiC mit seiner höchsten Leistungsdichte bietet die optimalen Leistungsverstärkerlösungen für diese Anwendungen. ◀