

Mai 5/2022 Jahrgang 27

# hf-praxis

**HF- und Mikrowellentechnik**

## Wellensalat vermeiden!

Analog Devices, Seite 6





9 kHz TO 40 GHz

# Power Sensors

Turn Your PC into a High-Performance Power Meter

- Dynamic range options spanning -60 to +20 dBm
- CW, true RMS, peak and average measurement capability
- 50 and 75Ω models
- Software package supports automated measurement with statistical analysis and time domain plots
- No external calibration required



 Mini-Circuits®

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
www.ie4u.de  
anfrage@ie4u.de

**Mini-Circuits Europe**

Registered in England No 1419461  
Wharf Road, Frimley Green Camberley, Surrey GU16 6LF, England  
Tel 0044-1252-832600 Fax 0044-1252-837010

**municom®**

D-83278 Traunstein, Germany  
Tel. 0049-861-16677-0 Fax 0049-861-16677-88  
info@municom.de www.municom.de

## Kommunikation im geschäftlichen Umfeld: Wider die Macht der Gewohnheit!



**Bernhard Strasser**  
Telemeter Electronic GmbH  
info@telemeter.de  
www.telemeter.info

Wenn wir untereinander in Betrieben oder mit unseren Kunden oder Lieferanten kommunizieren, dann tun wir das so, wie wir es uns angewöhnt haben. Wir denken nicht darüber nach, ob die Art und Weise der Kommunikation auch optimal ist oder verbessert werden könnte. Das ist die Macht der Gewohnheit, poetischer ausgedrückt: Betriebsblindheit.

Und gegen diese möchte ich mich hier einmal wenden. Denn aus meiner Sicht wird viel zu viel per E-Mail oder Kurznachrichten geschrieben und oft werden auch noch viel zu viele Personen in den Verteiler aufgenommen. Das

verschwendet einfach nur Zeit und mentale Energie. Denn wo sehr oft über volle Postfächer geklagt wird und wo Dinge nur schwer beurteilt werden können, da verlangsamen sich notwendige Abläufe und unnütze Reibungsenergie mindert die Effizienz.

Es ist also wichtig, zu erkennen, wo nun wirklich Handlungsbedarf besteht und wie genau der Empfänger mit Informationen umgehen soll. Es geht darum, Daten und Fakten präzise auszutauschen, sodass sich Rückfragen erübrigen, und es geht darum, überflüssiges und verwirrendes Beiwerk zu vermeiden. Auf den Punkt formuliert: Erst die disziplinierte und gezielte Nutzung macht Schreiben wertvoll.

Wer kennt nicht den Spruch: „Ich muss nur noch schnell ein paar E-Mails bearbeiten!“ Und wie lange dauert es dann wirklich? Das zeigt: Es ist für die meisten Menschen nicht leicht, sich schriftlich kurz und bündig und dabei auch noch eindeutig auszudrücken und am Ende auch noch den richtigen Verteiler auszuwählen!

Darum frage ich Sie: Wie oft lesen Sie Ihre Formulierungen nochmals durch, um keine Fehler und keinen überflüssigen Ballast zu versenden? Und wie oft kommt es trotzdem zu Missverständnissen oder weiterem Klärungsbedarf?

Ein Kontakt von zwei Menschen, die beide das Anliegen haben, den Anderen qualifiziert zu informieren, kann im Geschäftsleben durch Hilfsmittel optimal gestaltet werden:

- Terminvereinbarung statt spontanem Anruf
- persönliches Treffen statt Videokonferenz
- Muster und Unterlagen verwenden, ein Bild sagt mehr als tausend Worte
- Emotionen drosseln, sachlich bleiben

Kurzum: Ich bin der Meinung, dass durch gezielte und überlegte Kommunikation der Zeitbedarf und der Krafteinsatz in jedem Betrieb deutlich reduziert werden können.

*Bernhard Strasser*

**P.S.: Eine tolle Möglichkeit für gewinnbringende Gespräche bietet wieder die EMV 2022 vom 12. bis 14. Juli in Köln.**

**municom**<sup>®</sup>  
Technische Beratung und Distribution

Bauelemente für die **Hochfrequenztechnik**, **Optoelektronik** sowie **Hochfrequenzmessgeräte**

**Ihr Experte für:**

**Antennen** (Patch, Chip, GPS, Glass Mount),  
**Kabel, Adapter, Buchsen,**  
**low PIM Koppler**



www.municom.de



**municom Vertriebs GmbH**  
Traunstein · München



Mail: info@municom.de · Tel. +49 861 16677-99

**Die ganze Bandbreite  
der HF- und MW-Technik**



## Automated RF Test Systems for 5G Wireless Testing

The complexity and high frequencies of new 5G networks will require a complete overhaul of wireless infrastructure components and systems, as well as the production facilities and test equipment that builds and supports that infrastructure. Finding reliable RF systems that are compatible with these new requirements will be key to the successful deployment of 5G.

### Bench-Mounted Ethernet Programmable Attenuators



The 50BA-032-312.9MM is a 1 to 4-channel bench-top attenuator system specifically developed for testing mm-wave and 5G radios in a laboratory environment.

A 100 MHz to 40 GHz bandwidth and 0-62dB in 1-dB steps make it ideal for network emulation of fixed 5G and mobile 5G wireless networks. Other configurations and custom variations are also available.

### Rack-Mounted Ethernet Programmable Attenuators

The 50PA-1019-XX2.9MM is available with up to 16 attenuators. This new series of Ethernet-controlled RF attenuator systems was specifically developed for testing mm-wave and 5G radios in a laboratory environment. A 100 MHz to 40 GHz bandwidth and attenuation from 0-62dB x 1-dB are ideal for receiver testing and network emulation of fixed 5G and mobile 5G wireless network components. A simple Ethernet/RS-232 interface and standard 2.9 MM RF connectors make integration simple as well.



TACTRON ELEKTRONIK GmbH & Co. KG

Bunsenstr. 5/II • D-82152 Martinsried

Tel.: +49 (0)89 89 55 69 0 • Fax: +49 (0)89 89 55 69 29

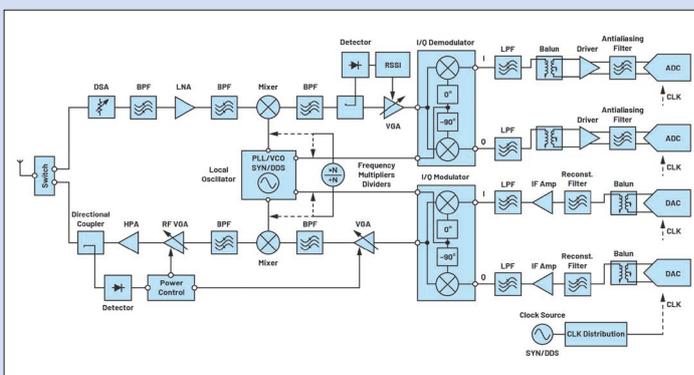
[www.tactron.de](http://www.tactron.de) • [info@tactron.de](mailto:info@tactron.de)



### Zum Titelbild: Wellensalat vermeiden

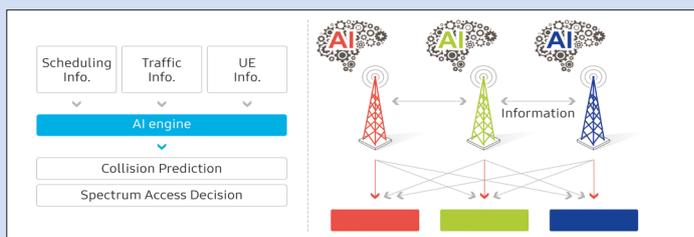
Dieser Beitrag erläutert die Grundlagen der HF-Impedanzanpassung, die Berechnung der Anpassungskomponenten und die Überprüfung dieser Ergebnisse mit LTspice. **6**

### Fachartikel in dieser Ausgabe



### Diskussion zur HF-Signalkette (Teil 2), Wesentliche Bausteine

Diskrete und integrierte Komponenten stellen funktionale Bausteine dar, die in den HF-Signalfaden in vielen Applikationen zum Einsatz kommen. **12**

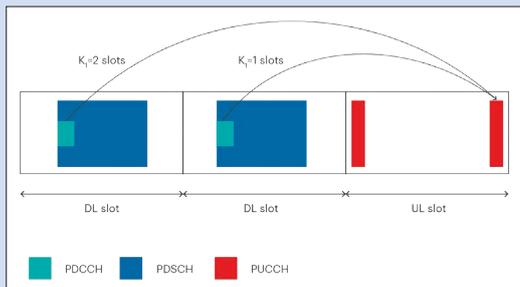


### Rubriken:

- 3 Editorial
- 4 Inhalt
- 6 Titelstory
- 12 HF-Technik
- 24 Schwerpunkt 5G/6G und IoT**
- 52 Messtechnik
- 62 Aktuelles
- 63 Quarze und Oszillatoren
- 64 Funkchips und -module
- 66 Bauelemente
- 69 RF & Wireless
- 78 Verstärker/Impressum

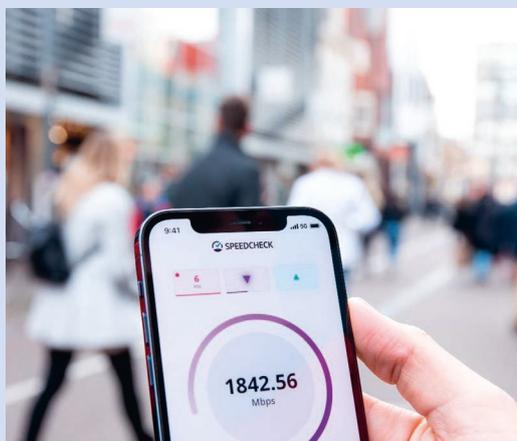
### Optimistisch in die Zukunft blicken - die Technologien für 6G

Das Kommunikationssystem der nächsten Generation 6G geht 2022 an den Start. Welche Erwartungen kann es erfüllen und welche nicht? Dieser Frage kommt man näher, indem man versucht, die Technologiealternativen auszumachen, die für die Erfüllung der Anforderungen für 6G unerlässlich sein werden. **32**



## Mit Release 16 kommt 5G NR in neue vertikale Branchen

Das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 16 (Rel-16) bringt viele neue Funktionen, um 5G New Radio (NR) auf neue Branchen auszuweiten. **38**



## Welche Rolle spielen Millimeterwellen für den Erfolg von 5G?

Während 5G noch am Anfang steht und mit neuen 3GPP Releases verbessert und verfeinert wird, ist es wichtig, zu verstehen, welche Rolle das mm-Wellen-Spektrum dabei spielen wird. **42**



## Für Anforderungen in der 5G-Telekommunikation: Charakterisierung von HF-Komponenten

Dieser Artikel beschreibt die Signalübertragungsmethode zur Charakterisierung von HF-Komponenten – wie Isolatoren, Richtkoppler, Antennen usw. – für den 5G-Telekommunikationsbereich mithilfe des Copper Mountain VNAs S5243. **48**

## EUROPE rf & wireless

### International News

#### Signal Quality Analyzer for New Compliance Test Program



Anritsu Corporation announced that the PCI-SIG has adopted the Anritsu Signal Quality Analyzer-R MP1900A BERT to support compliance tests at PCI-SIG Workshops. **70**

#### LDMOS Amplifier Module supports Multi-Octave Bandwidth

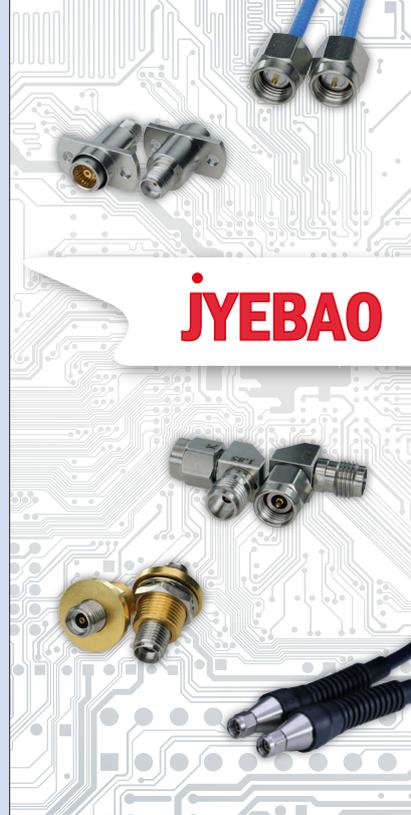


RFMW announced design and sales support for a high-power amplifier module from Elite RF. **72**

#### End-to-End live 5G Broadcast Streaming to Smartphones



Rohde & Schwarz and Qualcomm Technologies have joined forces to showcase 5G Broadcast with a full end-to-end live streaming demonstration at Mobile World Congress 2022. **74**



## JYEBAO

## Neue, hochflexible Testkabel von JYEBAO

- Very Flexible (PUR jacket)
- Stainless Precision Connectors used
- Excellent RF performance
- Extra sturdy connector/cable connection (Solder clamp designs)
- Taper Sleeve added
- Intended for lab use/intensive handling



CompoTEK GmbH  
Lindwurmstrasse 97a  
80337 München

tel +49 89 54 43 23-0  
fax +49 89 54 43 23-21

info@compotek.de  
www.compotek.de

## Wellensalat vermeiden

# Impedanzanpassung: Berechnungen und Simulationen

Dieser Beitrag erläutert die Grundlagen der HF-Impedanzanpassung, die Berechnung der Anpassungskomponenten und die Überprüfung dieser Ergebnisse mit LTspice.

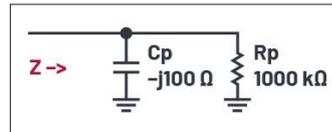
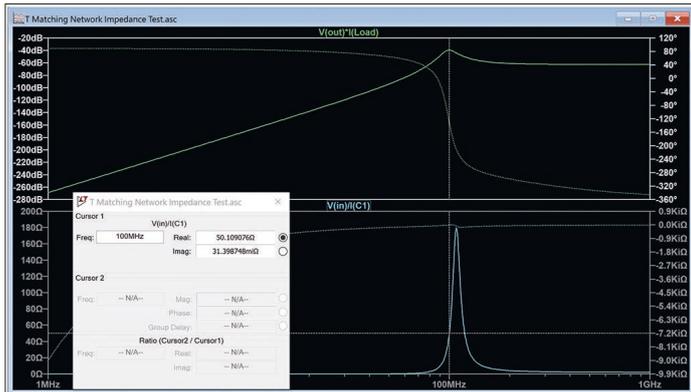


Bild 1: Paralleles RC-Glied

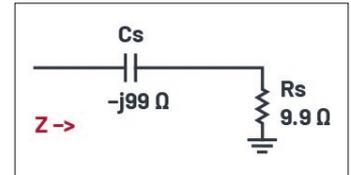


Bild 2: Seriendarstellung der Schaltung in Bild 1

Bekanntlich wird die maximale Leistung von einer Quelle zu einer Last übertragen, wenn der Quellenwiderstand dem Lastwiderstand entspricht. In den meisten HF-Schaltungen enthalten Quellen- und Lastimpedanzen jedoch auch Blindanteile. In diesem Fall muss die Quellenimpedanz gleich der konjugiert komplexen Lastimpedanz sein, um die maximale Leistung zu übertragen. Mit anderen Worten: Während die Realteile der Quellen- und Lastimpedanz übereinstimmen müssen, muss der Imaginärteil der Lastimpedanz das umgekehrte Vorzeichen wie der Imaginärteil der Quellenimpedanz haben.

Den Großteil der Komplexität einer HF-Leistungsverstärkerschaltung machen die Komponenten für die Impedanzanpassung aus, die die aktive Komponente umgeben, sei es ein Transistor oder eine integrierte

Lösung. Ist einmal bekannt, wie eine HF-Impedanzanpassung berechnet wurde, ist der Rest der Schaltung leichter zu erstellen. Die Berechnung der Anpassungskomponenten ist einfach, aber manchmal ist es gut, ein Werkzeug zu haben, um diese Berechnungen zu verifizieren und um sicherzustellen, dass tatsächlich die maximale Leistung von der Quelle zur Last übertragen wird.

### Abgestimmte Anpassglieder und Güte

Eine Kapazität hat einen Blindwiderstand nach folgender Gleichung:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Durch Multiplikation von Zähler und Nenner mit  $j$  ergibt sich, dass ein Kondensator einen negativen Blindwiderstand hat. Im Gegensatz dazu hat eine Induktivität einen positiven Blindwiderstand:

$$X_L = j\omega L$$

Wenn wir also einen Kondensator mit einer Spule in Reihe schalten und beide bei einer

bestimmten Frequenz betragsgleiche Blindwiderstände haben, bilden sie einen Kurzschluss mit Null-Phasenverschiebung (Reihenschwingkreis). Werden diese Komponenten parallelgeschaltet, bilden sie einen Isolator mit Null-Phasenverschiebung (Parallelschwingkreis). Beide Ausprägungen sind jedoch aufgrund der unvermeidbaren Verluste in beiden Bauelementen nicht ideal. Dies kann man durch einen angenommenen Reihen- oder Parallelwiderstand berücksichtigen,

### Der Autor



Simon Bramble schloss 1991 sein Studium der Elektrotechnik und Elektronik an der Brunel University in London ab und spezialisierte sich auf Analogelektronik und Stromversorgung. Er hat sich in seiner Laufbahn mit analoger Elektronik befasst und war bei Linear Technology (jetzt Teil von Analog Devices) tätig. Sie können ihn unter [simon.bramble@analog.com](mailto:simon.bramble@analog.com) erreichen.

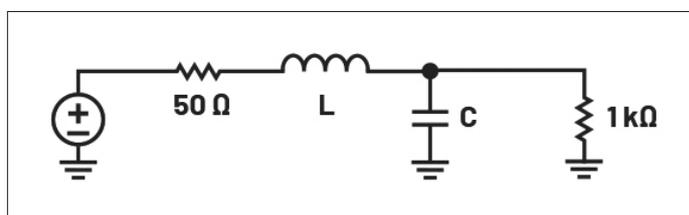
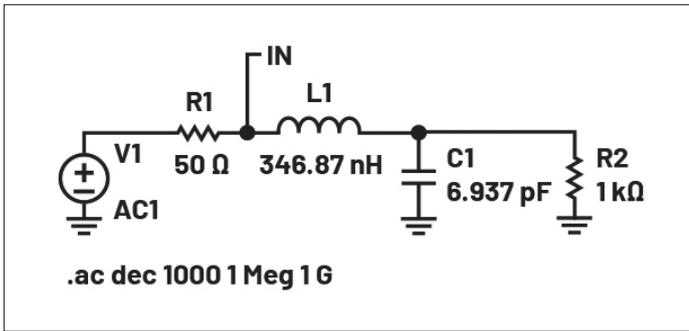


Bild 3: Anpassung einer 50-Ohm-Quelle an eine 1-kOhm-Last bei 100 MHz

Autor:  
Simon Bramble  
Analog Devices Inc.  
[www.analog.com](http://www.analog.com)



**Bild 4: Die Komponenten zur Anpassung der 50-Ohm-Quelle an die 1-kOhm-Last bei 100 MHz**

welcher die Verlustenergie aufnimmt. Die Güte bei Parallelschaltung ist:

$$Q = \frac{R_p}{X_p}$$

Die Güte bei Serienschaltung ist:

$$Q = \frac{X_s}{R_s}$$

Errechnet wird hier die Leerlaufgüte. Man kennt noch die Betriebsgüte  $Q_p$ , bei der die Widerstände von Quelle und Last noch mit eingehen. Die Betriebsgüte ist daher immer kleiner als die Leerlaufgüte.

Man kann ein Parallel-Netzwerk in ein äquivalentes Seriennetzwerk transformieren und damit die Anpassung sehr vereinfachen. Hat man das äquivalente Seriennetzwerk erst einmal abgeleitet, erreicht man die Impedanzanpassung einfach durch die Wahl einer Quellenimpedanz mit gleichem Real- aber konjugiert komplexem Imaginärteil.

Die Impedanz der in Bild 1 dargestellten Schaltung berechnet sich zu:

$$Z = \frac{\text{Product}}{\text{Sum}} = \frac{R_p \times (-jX_{cp})}{R_p - jX_{cp}}$$

$-jX_{cp}$  ... Blindwiderstand der parallelen Kapazitäten

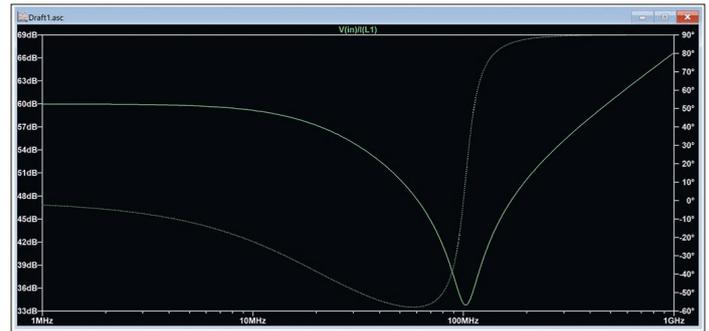
Das Serienäquivalent dieser Schaltung kann auf verschiedene Weise berechnet werden. Zähler und Nenner von Gleichung 5 können mit dem komplex konjugierten des Nenners multipliziert werden, um die realen und imaginären Serienwerte zu erhalten. Alternativ kann die Gleichung in die Polarform umgewandelt werden und die realen und imaginären Serienkomponenten können mithilfe von Sinus und Kosinus berechnet werden.

Die Serienkomponenten können schneller bestimmt werden, wenn man  $Q_p$  des parallelen Netzwerks bestimmt (unter Verwendung von Gl. 3) und dann die folgende Gleichung anwendet, um den neuen Serienwiderstand zu ermitteln:

$$R_s = \frac{R_p}{Q_p^2 + 1}$$

Man entwirft dann eine Reihenschaltung mit derselben Güte und setzt den neuen Reihenwiderstand  $R_s$  in Gl. 4 ein, um den neuen Reihenblindwiderstand  $X_s$  zu ermitteln. Die Herleitung von Gl. 6 ist im Anhang dargestellt.

Aus den Schaltungskomponenten in Bild 1 ergibt sich  $Q_p = 10$  durch Division des Parallelwiderstands durch den Par-



**Bild 5: Eingangs-Plot des Anpassungsnetzwerks**

allelblindwiderstand. Mit Gl. 6 können wir den Parallelwiderstand von 1 kOhm in einen Reihenwiderstand  $R_s$  von 9,9 Ohm umrechnen. Nach Gl. 4 hat der Reihenkondensator einen Blindwiderstand von  $-j99$  Ohm. Bei einer bestimmten Frequenz weist die Schaltung in Bild 1 also eine identische Impedanz auf wie die Schaltung in Bild 2.

Da die Last einen Realteil von 9,9 Ohm und einen negativen Imaginärteil ( $-j99$  Ohm) hat, benötigt man für die maximale Leistungsübertragung eine Quellenimpedanz mit einem Realteil von 9,9 Ohm und einem positiven Imaginärteil ( $+j99$  Ohm). Dann heben sich die beiden Blindwiderstände gegenseitig auf (es entsteht ein Kurzschluss), und es bleibt ein Quellenwiderstand übrig, der einen identischen Lastwiderstand treibt.

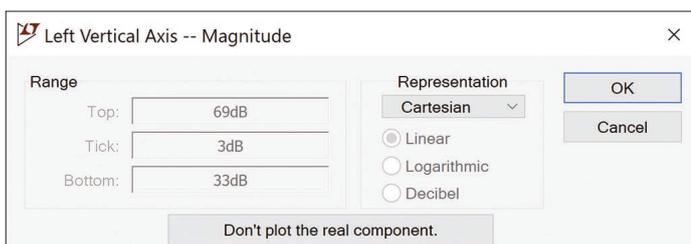
Jetzt ist die Reihenschaltung in Bild 2 nur ein Äquivalent der Schaltung in Bild 1. Man braucht die Konfiguration von Bild 1 nicht zu ändern. Steuert man die Parallelschaltung mit

einer Quelle an, die eine Serienimpedanz von  $(9,9 + j99)$  Ohm hat, wird die maximale Leistung übertragen. Es ist wichtig, zu beachten, dass der parallele Blindwiderstand (in diesem Fall  $C_p$ ) ein Serienäquivalent des 1-kOhm-Widerstands erzeugt, das um einen Faktor niedriger ist, der durch die Güte  $Q$  der Schaltung bestimmt wird. Dieser Blindwiderstand kann entweder ein Serienkondensator oder eine Serieninduktivität sein. Ebenso gilt: In einer RC-Serienschaltung (wie in Bild 2) erzeugt der Serienblindwiderstand (ob kapazitiv oder induktiv) ein höheres paralleles Äquivalent des Serienwiderstands  $R_s$ . In der Tat kann Gl. 6 wie folgt umgestellt werden:

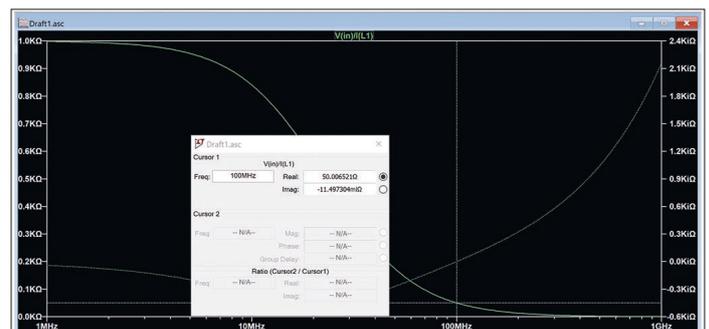
$$R_p = (Q^2 + 1)R_s$$

Daraus ergibt sich sofort, dass der Parallelwiderstand um den Faktor  $(Q^2 + 1)$  höher ist als der Serienwiderstand.

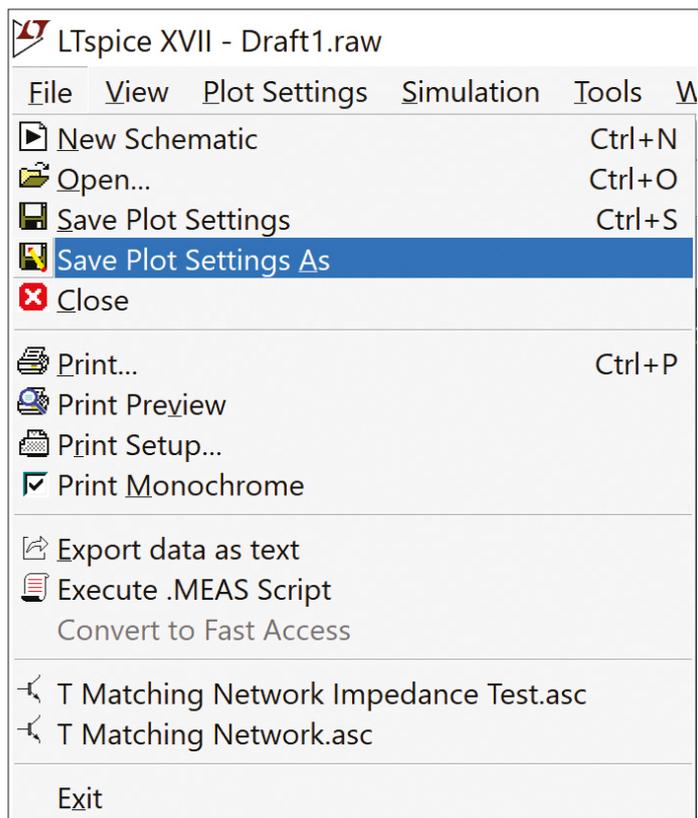
Zum vorherigen Beispiel kann man zusammenfassend feststellen, dass wir parallele oder serielle Blindwiderstände verwenden können, um einen



**Bild 6: Wandlung der Y-Achse im Bodediagramm in kartesische Darstellung**



**Bild 7: Der endgültige Plot zeigt die gute 50 Ohm + j0 Ohm Anpassung bei 100 MHz**



**Bild 8: Durch Speicherung des Plots sichert man die y-Achsenkonfiguration und die gezeigten Wellenformen**

Widerstand kleiner oder größer erscheinen zu lassen. Die Betriebsgüte des parallelen RC-Netzwerks wird durch das Verhältnis zwischen seinem Widerstand zu seinem Blindwiderstand bestimmt. Man verwendet diese Güte, um das parallele Netzwerk in ein serielles Netzwerk umzuwandeln, und wählt dann den realen Teil der Quellenimpedanz so, dass er dem realen Teil der (seriellen) Lastimpedanz entspricht, und wählt dann einen Blindanteil der Quellenimpedanz so, dass er gleich groß, aber entgegengesetzt zum Blindanteil der seriellen Lastimpedanz ist.

### Arbeiten mit festen Quell- und Lastimpedanzen

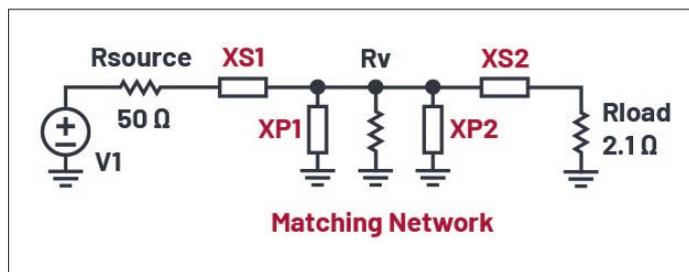
Selten kann man die Quellenimpedanz ändern. Die Impedanzen von Quelle und Last sind in der Regel vorgegeben, sodass man ein Netzwerk zur Anpassung der beiden entwerfen muss.

Bild 3 zeigt eine 50-Ohm-Quelle, die bei 100 MHz an eine 1-kOhm-Last angepasst werden

muss. Der Shunt-Kondensator muss die parallelen 1 kOhm in einen Serienwiderstand von 50 Ohm transformieren, was bedeutet, dass diese RC-Kombination eine Betriebsgüte von 4,36 haben muss (Gl. 6). Daraus ergibt sich ein äquivalentes Serienwiderstand von 50 Ohm plus eine Serienkapazität von einem beliebigen Wert. Dann wählt man eine Serieninduktivität, um einen betragsgleichen Blindwiderstand zum Serienkondensator zu schaffen. Diese beiden Blindwiderstände heben sich auf und es bleibt ein 50-Ohm-Widerstand übrig, der in eine 50-Ohm-Last speist. Wir können Gl. 3 verwenden, um den Blindwiderstand der Parallelkapazität zu berechnen:

$$X_p = \frac{1 \text{ k}\Omega}{4.36} = 229 \Omega$$

Der Parallelkondensator sollte 6,94 pF betragen, damit beim parallelen Netzwerk bei 100 MHz der Blindwiderstand -j229 Ohm beträgt. Um dieses in ein serielles Netzwerk umzuwandeln, muss man die Güten Q der parallelen und seriellen Netz-



**Bild 9: Anpassungs-T-Glied mit virtuellem Widerstand**

werke gleichsetzen. Anhand von Gl. 4 kann man sehen, dass diese Parallelschaltung in ein äquivalentes Seriennetzwerk mit  $R_s = 50 \text{ Ohm}$  transformiert ist und gilt:

$$X_s = 4.36 \times 50 \Omega$$

Somit ist  $X_s = 218 \text{ Ohm}$ . Somit sieht die Parallelschaltung des 6,94-pF-Kondensators und der 1-kOhm-Last aus wie eine Reihenschaltung eines 50-Ohm-Widerstands mit einem Kondensator mit einem Blindwiderstand von -j218 Ohm. Die Serieninduktivität mit einem Blindwiderstand von +j218 Ohm stellt sicher, dass sich die Blindanteile des Anpassungsnetzwerks aufheben und die 50-Ohm-Quelle nun in einen effektiven Lastwiderstand von 50 Ohm speist. Bild 4 zeigt das endgültige Netzwerk.

Die Schaltung kann in LTspice simuliert werden. Sie ist aufgebaut wie üblich, der Einfachheit halber wird der Knotenpunkt von R1 und L1 mit IN bezeichnet. Die Impedanz der Last, wie sie von der Quelle gesehen wird, kann durch Abtasten des IN-Knotens und des in L1 fließenden Stroms aufgezeichnet werden. Man klickt dann im Wellenformfenster mit der rechten Maustaste auf I(L1) und kopiert den Text. Dann klickt man mit der rechten Maustaste auf das Symbol V(in) und ändert den Text in V(in)/I(L1), um die Eingangsimpedanz des Anpassungsnetzwerks darzustellen, wie in Bild 5 gezeigt. Diese Darstellung zeigt jedoch die Impedanz in dB. Um die y-Achsen so zu ändern, dass die realen und imaginären Komponenten angezeigt werden, klickt man mit der rechten Maustaste auf die linke y-Achse und ändert im Feld Darstellung

von Bode auf kartesisch, wie in Bild 6 gezeigt.

In diesem Beispiel muss man den Lastwiderstand von 2,1 Ohm wie 50 Ohm aussehen lassen und gleichzeitig die Güte auf einen gewünschten Wert halten. Um dies zu erreichen, wandelt man zur Bestätigung von der Serie- in die Parallelschaltung. Der endgültige Plot ist in Bild 7 dargestellt, wobei die realen Werte auf der linken Achse und die imaginären Werte auf der rechten Achse aufgetragen sind. Bewegt man den Cursor auf die 100-MHz-Position, sieht man, dass die Eingangsimpedanz des Anpassungsnetzwerks tatsächlich 50 Ohm beträgt und der Imaginärteil sehr gering ist. Wenn man das Wellenformfenster schließt und die Simulation erneut startet, muss man leider V(in) und I(L1) erneut messen, das eine durch das andere teilen und dann die y-Achsen ändern, um die kartesischen Werte anzuzeigen. Dies lässt sich vermeiden, indem man das Wellenformfenster auswählt und Datei > Plot-Einstellungen anklickt, wie in Bild 8 gezeigt. Dadurch werden die Einstellungen des aktuellen Wellenformfensters gespeichert und die Wellenformen bei der nächsten Simulation wird automatisch neu geplottet.

### Arbeiten mit bekanntem Q

Leider ermöglicht das L-Glied in Bild 4 nicht die Wahl der Güte, die durch die Impedanzen von Quelle und Last bestimmt wird. Eine Möglichkeit, dieses Problem zu lösen, ist die Verwendung eines T-Glieds, wie in Bild 9 dargestellt, das aus zwei hintereinander geschalteten

# Nahfeldsonden Set DC bis 9 GHz

## Präzise EMV E- und H-Feld Messungen



Erhältlich unter:  
[aronia-shop.com/pbs](http://aronia-shop.com/pbs)

### Punktgenaue EMV-Fehlersuche

Die Hochleistungs-Sonden Sets von Aronia sind zum einfachen und schnellen Lokalisieren von EMI-relevanten Feldern konzipiert und mit jedem Spektrumanalysator kompatibel. Sie beinhalten insgesamt 5 Sonden von DC bis 9 GHz: 4 Sonden für magnetische Felder und eine Sonde für elektrische Felder.

Perfekt zur Abschätzung von Störfeldstärken, Identifizieren fehlerhafter Bauelemente z.B. auf einer Leiterplatte, sowie Überprüfung der Wirksamkeit von Abschirm- und Filtermaßnahmen, um die Störsicherheit im Sinne der EMV-Richtlinie sicherzustellen.

Der integrierte Stativ-Anschluss (Pistolengriff-Ministativ im Set enthalten) sorgt für perfekte Ausrichtungsmöglichkeiten. Das aktive Set PBS2 enthält zusätzlich einen extrem rauscharmen 40 dB Vorverstärker, der auch das Messen und Lokalisieren sehr schwacher Störquellen ermöglicht.

Gewerbegebiet Aronia AG II  
Dorfstraße 10a  
54597 Strickscheid, Germany

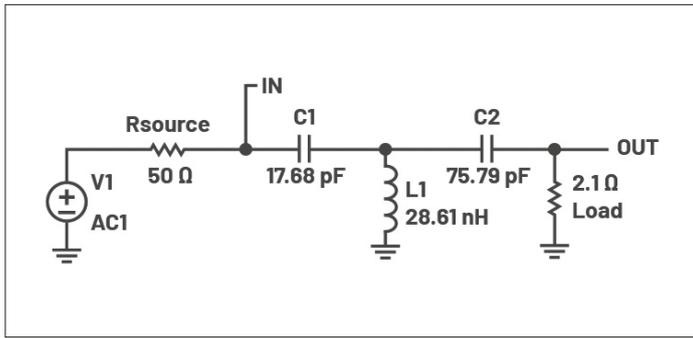
Tel.: +49 6556 900310  
Fax: +49 6556 900319  
E-Mail: [mail@aronia.de](mailto:mail@aronia.de)

[aronia-shop.com/pbs](http://aronia-shop.com/pbs)

MADE IN GERMANY



**AARONIA AG**  
WWW.AARONIA.DE



**Bild 10: Das endgültige T-Glied**

L-Gliedern besteht. Im L-Glied wurde eine Serieninduktivität verwendet, um den Blindwiderstand eines Serienkondensators zu kompensieren. Im T-Glied wird ebenfalls eine Parallelinduktivität verwendet, um den Blindwiderstand des Parallelkondensators zu kompensieren (um einen offenen Stromkreis zu erzeugen).

Aus Bild 9 geht hervor, dass die Serienimpedanz  $X_{S2}$  (eines Kondensators oder einer Induktivität) den Serienwiderstand von 2,1 Ohm in einen größeren äquivalenten Parallelwiderstand plus einem beliebigen Parallelblindwiderstand umwandelt. Daher kann man  $X_{P2}$  so wählen, dass sie gleich, aber entgegengesetzt zu diesem beliebigen parallelen Blindwiderstand ist. Der 2,1-Ohm-Widerstand sieht dann

wie ein größerer Parallelwiderstand ohne Blindwiderstand aus.

Die 2,1-Ohm-Last erscheint jetzt wie ein viel größerer virtueller Widerstand  $R_v$  (Bild 9). Man beachte, dass  $R_v$  nicht tatsächlich in der Schaltung platziert ist – es wurde lediglich dafür gesorgt, dass der 2,1-Ohm-Widerstand von der Position von  $R_v$  aus gesehen einen größeren Wert hat. Um die Schaltung zu vereinfachen, kann man den 2,1-Ohm-Widerstand,  $X_{S2}$  und  $X_{P2}$  durch  $R_v$  ersetzen, und die Schaltung würde von der Quelle aus gesehen bei einer bestimmten Frequenz die gleiche Impedanz aufweisen.

Durch Umstellen von Gl. 6 ergibt sich:

$$Q = \sqrt{\frac{R_p}{R_s} - 1}$$

### Ableitung der Gleichung 6

$$Z = \frac{\text{Product}}{\text{Sum}}$$

$$Z = \frac{jX_{cp} \times R_p}{jX_{cp} + R_p}$$

Entfernung des imaginären Terms im Nenner:

$$Z = \frac{jX_{cp}R_p}{jX_{cp} + R_p} \times \frac{R_p - jX_{cp}}{R_p - jX_{cp}}$$

$$Z = \frac{jX_{cp}R_p^2 + X_{cp}^2R_p}{R_p^2 + X_{cp}^2}$$

Umstellung ergibt:

$$Z = \frac{X_{cp}^2R_p}{R_p^2 + X_{cp}^2} + j \frac{X_{cp}R_p^2}{R_p^2 + X_{cp}^2}$$

Der reale Teil des obigen Beispiels ist der Wert des neuen Vorwiderstands  $R_s$ . D.h.:

$$R_s = \frac{X_{cp}^2R_p}{R_p^2 + X_{cp}^2}$$

Aus Gleichung 3 ist bekannt:

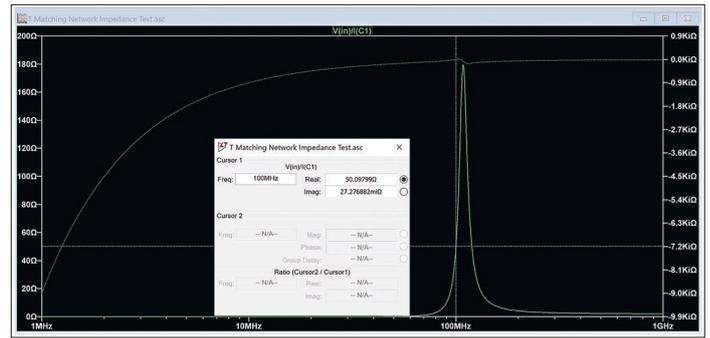
$$X_p = \frac{R_p}{Q_p}$$

Somit:

$$R_s = \frac{\frac{R_p^2}{Q_p^2} R_p}{R_p^2 + \frac{R_p^2}{Q_p^2}}$$

Multipliziert mit  $Q_p^2$  und dividiert durch  $R_p^2$  ergibt sich:

$$R_s = \frac{R_p}{Q_p^2 + 1}$$



**Bild 11: Plot der Eingangsimpedanz bei 100 MHz**

Man sieht, dass die Güte der Schaltung umso größer ist, je größer dieser virtuelle Widerstand im Vergleich zum Quellwiderstand von 50 Ohm ist. Man kann demnach  $X_{S2}$  und  $X_{P2}$  so ändern, dass  $R_v$  wie ein beliebiger Wert aussieht und man so die gewünschte Güte der Schaltung erhält. Man kann dann die für ein L-Glied verwendete Methode anwenden, um den Quellwiderstand (50 Ohm) an den Lastwiderstand  $R_v$  anzupassen. Dann verwenden man  $X_{P1}$ , um  $R_v$  wie einen kleineren Serienwiderstand (idealerweise 50 Ohm) erscheinen zu lassen, plus einem beliebigen Serienblindwiderstand, und man wählt  $X_{S1}$  so, dass er gleich, aber entgegengesetzt zu diesem beliebigen Serienblindwiderstand ist, sodass der 50-Ohm-Quellwiderstand in einen 50-Ohm-Lastwiderstand einfließt, aber immer noch eine hohe Güte erhalten bleibt.

Man muss, der Methodik folgend, bei 100 MHz die 50-Ohm-Quelle an eine 2,1-Ohm-Last mit einer gewünschten Schaltungsgüte von 10 anpassen. Die Schaltung in Bild 9 soll wie ein L-Glied mit einer 50-Ohm-Quelle und einem größeren Lastwiderstand  $R_v$  angesehen werden. Zunächst muss man deshalb die 2,1 Ohm in einen größeren (parallelen) Widerstand umwandeln. Man weiß, dass der Serienblindwiderstand  $X_{S2}$  die 2,1 Ohm in einen größeren Parallelwiderstand umwandelt, nach Gl. 4:

$$10 = \frac{X_s}{2.1 \Omega}$$

Demnach ist  $X_{S2} = 21$  Ohm. Anschließend wandelt man diese

Reihenschaltung mit Gl. 6 in ihr paralleles Äquivalent um:

$$2.1 \Omega = \frac{R_p}{10^2 + 1}$$

Daraus ergibt sich ein  $R_p$  von 212,1 Ohm. Das ist der virtuelle Widerstand. Ein Serienwiderstand von 2,1 Ohm und eine Serienreaktanz von 21 Ohm erscheinen also als größerer Parallelwiderstand von 212,1 Ohm plus einem beliebigen Parallelblindwiderstand. Man fügt dann einen gleichen, aber entgegengesetzten parallelen Blindwiderstand ein, um diesen auszugleichen, sodass nur der größere Parallelwiderstand übrigbleibt:

$$10 = \frac{212.1 \Omega}{X_p}$$

Somit ergibt sich  $X_{P2} = 212,1$  Ohm. Man könnte auch  $X_{S2}$ ,  $X_{P2}$  und den 2,1-Ohm-Widerstand durch einen einzigen parallelen Widerstand von 212,1 Ohm ersetzen, und die Schaltung würde bei 100 MHz die gleiche Impedanz zur Quelle aufweisen. Dies kann in LTspice simuliert werden. Die Schaltung kann nun als einfaches L-Glied behandelt werden, bei dem man lediglich den 50-Ohm-Quellwiderstand an eine Last von 212,1 Ohm anpasst. Aus Gl. 10 ergibt sich:

$$Q = \sqrt{\frac{212.1 \Omega}{50 \Omega} - 1} = 1.80$$

Der parallele 212,1-Ohm-Widerstand muss jetzt wie ein 50-Ohm-Serienwiderstand betrachtet werden. Widerstand und Güte sind bekannt, und man kann jetzt den erforderliche parallelen Blindwiderstand berechnen, um diese Güte zu erreichen. Dann erstellt man eine äquivalente Reihen-

Komponente	Impedanz	Wert bei 100 MHz
XS1	90 Ohm	17,68 pF
XP1	117,8 Ohm	187,5 nH
XS2	21 Ohm	75,79 pF
XP2	21,21 Ohm	33,76 nH

**Tabelle 1: Die Werte der Komponenten des T-Netzwerks**

schaltung mit der gleichen Güte. Durch Einfügen eines parallelen Blindwiderstands wird der hohe Wert des parallelen Widerstands in einen niedrigeren Wert des Reihenwiderstands (50 Ohm) plus etwas Reihenblindwiderstand umgewandelt. Aus Gl. 3 ergibt sich:

$$1.80 = \frac{212.1 \Omega}{X_p}$$

Somit ist  $X_{p1} = 117,8 \text{ Ohm}$ . Ein paralleler Blindwiderstand von 117,8 Ohm lässt den parallelen Widerstand von 212,1 Ohm wie einen Serienwiderstand von 50 Ohm erscheinen. Man kann dann Gl. 4 zur Berechnung des Serien-Blindwiderstands verwenden. Der Parallelwiderstand 117,8 Ohm und der Widerstand von 212,1 Ohm bedeuten eine Güte von 1,8. Wenn man dies in eine Reihenschaltung mit derselben Güte und einem Reihenwiderstand von 50 Ohm umrechnet, kann man den Reihen-Blindwiderstand berechnen (Gl. 4):

$$1.80 = \frac{X_s}{50 \Omega}$$

Es ergibt sich  $X_{s1} = 90 \text{ Ohm}$ . Der Parallelwiderstand 212,1 Ohm und der Blindwiderstand 117,8 Ohm entsprechen einem Serienwiderstand von 50 Ohm und einem Blindwiderstand von 90 Ohm. Wenn  $X_{p1}$  ein Kondensator ist, ergibt sich daraus ein Serien-Blindwiderstand von  $-j90 \text{ Ohm}$ , sodass die Serien-Anpassungskomponente induktiv sein muss ( $+j90 \text{ Ohm}$ ), damit sich die Blindwiderstände aufheben.

Bei dem oben beschriebenen Verfahren sind einige Punkte zu beachten. Erstens: Bei einem T-Glied beginnt der Entwurf am Ende des Stromkreises mit dem niedrigsten Widerstandswert, im Beispiel also mit 2,1 Ohm, nicht mit 50 Ohm. Aus Gl. 6 kann man ersehen, dass man, wenn man

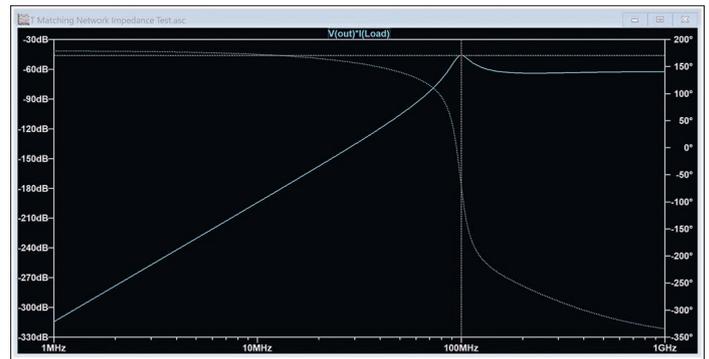
mit dem 50-Ohm-Ende beginnen würden, einen viel höheren Wert für  $R_v$  berechnen und aufgrund des viel niedrigeren Lastwiderstands von 2,1 Ohm eine sehr hohe Güte für die rechte Hälfte des Netzes erhalten würden. Zweitens stellt man fest, dass die Serien-Blindwiderstände immer das entgegengesetzte Vorzeichen wie die Shunt- Blindwiderstände haben, damit sie sich gegenseitig aufheben. Die Werte der Komponenten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Da  $X_{p1}$  und  $X_{p2}$  parallele Induktivitäten sind, können diese zu einer einzigen Induktivität von 28,61 nH zusammengefasst werden. Die endgültige Schaltung ist in Bild 10 dargestellt.

Wenn man die Spannung am IN-Knoten aufzeichnet und durch den in C1 fließenden Strom dividiert, sieht man, dass die Eingangsimpedanz des Anpassungsnetzwerks fast 50 Ohm beträgt (s. Bild 11). Man kann auch die auf die Last übertragene Leistung aufzeichnen, indem man die Spannung über der Last und den durch die Last fließenden Strom aufzeichnet und das miteinander multipliziert, wie in Bild 12 dargestellt.

Wenn man mit der rechten Maustaste auf das Plot-Fenster klickt und Add Plot Pane wählt, kann man gleichzeitig die Anpassung in einem Fenster und die Leistungsübertragung in einem anderen Fenster darstellen. Durch Speichern der Plot-Einstellungen wird sichergestellt, dass diese nach jeder Simulation automatisch geplottet werden.

### Umgang mit komplexen Lasten

Eine Last ist selten rein ohmsch. Man kann die 2,1-Ohm-Last in Bild 10 mit einem kapazitiven Element in Reihe schalten, z.B. 398 pF (das entspricht  $-j4 \text{ Ohm}$



**Bild 12: Maximaler Leistungstransfer bei 100 MHz**

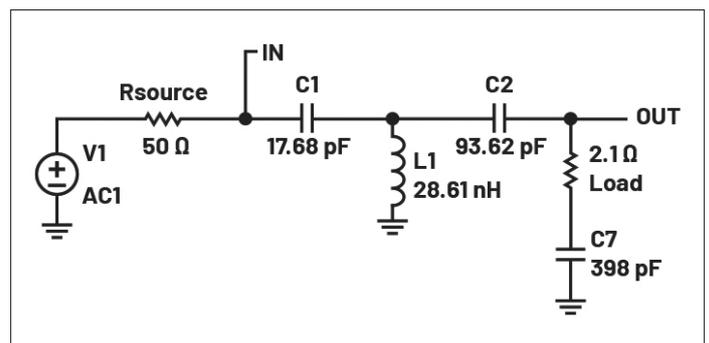
bei 100 MHz), was das Anpassungsnetzwerk unterbricht. Dies ist jedoch leicht zu beheben. In Bild 10 bilden C2 und die 2,1-Ohm-Last ein Reihennetzwerk mit einer Güte von 10, die durch das Verhältnis von Blindwiderstand  $-j21 \text{ Ohm}$  zu Widerstand 2,1 Ohm bestimmt wird. Durch die zusätzlichen  $-j4 \text{ Ohm}$  hat sich der gesamte Blindwiderstand auf  $-j25 \text{ Ohm}$  erhöht. Um die gleiche Güte beizubehalten, kann man zu dieser Reihenschaltung einen positiven Blindwiderstand hinzufügen, der die  $-j4 \text{ Ohm}$  der Last aufhebt. Dies kann durch Hinzufügen einer Induktivität von 6,37 nH (was einen Blindwiderstand von  $+j4 \text{ Ohm}$  ergibt) in Reihe mit C2 erreicht werden, um das Verhältnis zwischen Blindwiderstand und Widerstand beizubehalten. Ein bequemerer Weg ist die Erhöhung von C2 auf 93,62 pF. Dadurch verringert sich der Blindwiderstand auf  $-j17 \text{ Ohm}$ , und die Lastkapazität erhöht dann den Nettoreihenwiderstand wieder auf  $-j21 \text{ Ohm}$ , sodass eine Güte von 10 erhalten bleibt. LTspice kann zur Überprüfung der

Korrektheit verwendet werden, die endgültige Schaltung ist in Bild 13 dargestellt. Der Aufmacher zeigt, dass diese Schaltung bei 100 MHz eine gute Anpassung an 50 Ohm aufweist.

### Schlussbemerkung

Hoffentlich hat dieser Artikel das Thema der HF-Impedanzanpassung versachlicht und das Verständnis für HF-Verstärkerschaltungen erleichtert. Mithilfe der Betriebsgüte eines Netzwerks kann man zwischen Reihen- und Parallelnetzwerken wechseln und Widerstände mit niedrigem Wert in solche mit höherem Wert umwandeln. Wie bei jeder technischen Aufgabe ist es jedoch immer gut, eine Gegenkontrolle für die Berechnungen zu haben, und LTspice erweist sich dabei als unschätzbar wertvoll bei der Darstellung der Eingangsimpedanz und der Ausgangsleistung einer Schaltung.

Vielen Dank an Chris Bowick für das Gegenlesen der Theorie, die in diesem Artikel umrissen wird; s. auch Chris Bowick: RF Circuit Design. Newnes, November 2007. ◀

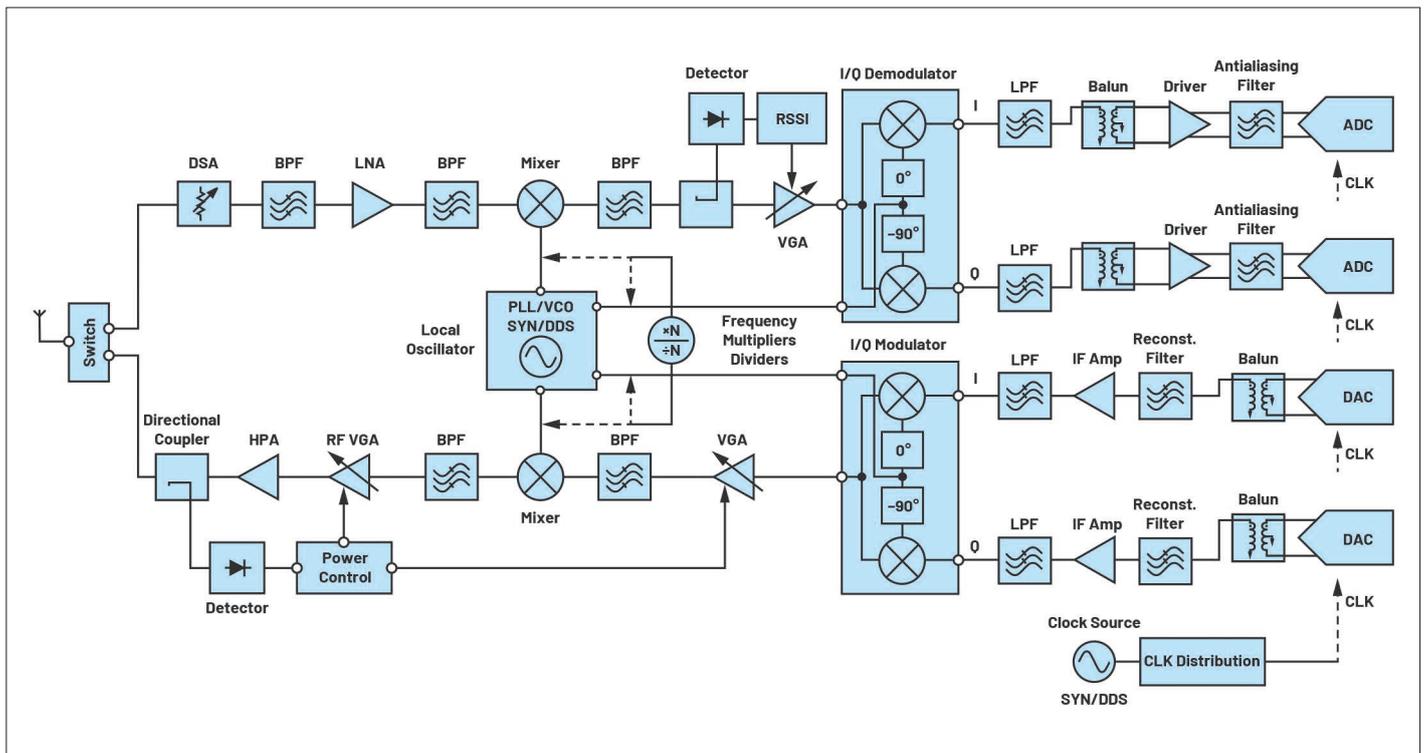


**Bild 13: Das überarbeitete T-Glied zur Anpassung an eine komplexe Last**

## Diskussion zur HF-Signalkette (Teil 2)

# Wesentliche Bausteine

Diskrete und integrierte Komponenten stellen funktionale Bausteine dar, die in den HF-Signalfaden in vielen Applikationen zum Einsatz kommen.



Um die gewünschte Performance zu erzielen, muss ein HF-Systemingenieur ein solides Wissen über eine breite Palette an HF-Komponenten haben, deren Auswahl die Gesamtleistung der kompletten HF-Signalkette in der endgültigen Applikation bestimmt.

Hier nun wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten verschiedenen Funktionsgruppen gegeben, die in einem typischen HF-Signalfaden verwendet werden, wie es der Aufmacher allgemein als Blockschaltbild darstellt. Wir beschränken uns auf die gebräuchlichsten ICs und stützen uns dabei auf die Klassifizierungskriterien, die für die Definition des Signalfaden auf Systemebene relevant sind. Diese Klassifizierung umfasst HF-Verstärker, Frequenzgenerations-ICs, Frequenzvervielfacher und -teiler, Mischer, Filter und Schalter sowie Dämpfungs- und Detektorkomponenten.



Autor:  
Anton Patyuchenko  
Analog Devices Inc.  
www.analog.com

### HF-Verstärker

Ein optimales Verstärker-Design ist immer ein Kompromiss zwischen Verstärkung, Rauschen, Bandbreite, Effizienz, Linearität und weiteren Parametern. Anhand dieser Hauptklassifizierungskriterien können wir zwischen verschiedenen Verstärkertypen unterscheiden.

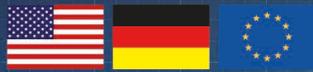
Rauscharme Verstärker (Low Noise Amplifiers, LNAs) sind für geringe Signalpegel vorgesehen. Die Rauschzahl (NF) eines guten LNAs kann weniger als 1 dB im Sub-GHz-Bereich und einige dB bei höheren Frequenzen betragen. Da die Gesamttauschzahl einer Signalkette von ihren ersten Stufen dominiert wird, werden LNAs häufig direkt am Eingang eines Empfängers eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden Leistungsverstärker (Power Amplifiers, PAs) normalerweise in den Ausgangsstufen eines Sendesi-

gnalfaden eingesetzt. Sie sind für einen hohen Wirkungsgrad und meist hohe Linearität optimiert. Verstärker mit hohem IP3 und geringem NF bieten einen hohen Dynamikbereich. Ein anderer Verstärkertyp ist darauf hin optimiert, Signale mit hohem Verhältnis von Spitzen- zu Durchschnittsleistung zu verarbeiten. In Kommunikationssystemen, die auf vektormodulierten Signalen beruhen, ermöglichen Verstärker mit hoher Linearität beispielsweise die Minimierung von Signalverzerrungen, was für das Erreichen niedriger Bitfehlerlraten entscheidend ist.

Verstärker mit variabler Verstärkung (Variable Gain Amplifiers, VGAs) adressieren Applikationen mit einem breiten Bereich von Signalpegeln. VGAs gleichen Veränderungen des Signalpegels durch flexible Regelung aus, um etwa ein Sendesignal zu steuern oder die empfangene Signalamplitude anzupassen.

# RF-LAMBDA

THE LEADER OF RF BROADBAND SOLUTIONS



Made in USA

# BROADBAND SSPA

## SOLID STATE POWER AMPLIFIERS

[WWW.RFLAMBDA.COM](http://WWW.RFLAMBDA.COM)

### 0.1-22GHZ ULTRA BROADBAND SSPA

RFLUPA01M22GA  
4W 0.1-22GHZ



RFLUPA0218GA  
10W 2-18GHZ

### EMC BENCHTOP POWER AMPLIFIER



140W 6-18GHZ  
SOLID STATE BROADBAND

### 0.01-6GHZ VHF, UHF, L, S, C BAND

RFLUPA02G06GC  
100W 2-6GHZ

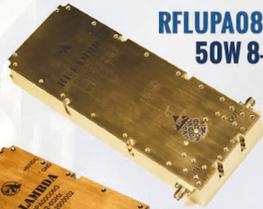


RFLUPA0706GD  
30W 0.7-6GHZ

### 6-18GHZ C, X, KU BAND



RFLUPA0618GC  
25W 6-18GHZ



RFLUPA08G11GA  
50W 8-11GHZ

RFLUPA06G12GB  
25W 6-12GHZ



### 18-50GHZ K, KA, V BAND



RFLUPA18G47GC  
2W 18-47GHZ



RFLUPA27G34GB  
15W 27-34GHZ



RFLUPA28G42GA  
2W 28-42GHZ



RFLUPA32G38GB  
8W 32-38GHZ

### BENCHTOP RF MICROWAVE SYSTEM POWER AMPLIFIER



RAMP00G06GA - 30W 0.01-6GHZ



RAMP39G48GA - 4W 39-48GHZ



RAMP01G22GA - 8W 1-22GHZ



RAMP27G34GA - 8W 27-34GHZ

[www.rflambda.com](http://www.rflambda.com)  
sales@rflambda.com

1-888-976-8880  
1-972-767-5998

San Diego, CA, US  
Carrollton, TX, US

Ottawa, ONT, Canada  
Frankfurt, Germany

Verstärkertyp	Charakteristische Merkmale
rauscharmer Verstärker	geringes (Phasen-)Rauschen, für kleinste Signale
Leistungsverstärker	liefert Ausgangsleistung mit hoher Effizienz
High-IP3-Verstärker	hochlinear, für Signale mit hohem Crest-Faktor
Verstärker mit variabler Verstärkung	einstellbare Verstärkung für breiten Eingangssignalebereich
Breitbandverstärker	arbeitet in einem breiten Frequenzbereich
Treiberverstärker	stellt die Betriebsbedingungen für angeschlossene Komponenten sicher
Pufferverstärker	minimiert Effekte der Lastimpedanz-Variationen auf die Signalquelle
Verstärkerblock	flacher Verlauf von Verstärkung und Returnloss, erfordert minimale externe Komponenten
Begrenzerverstärker	liefert über breite Eingangssignalepegel ein stabiles begrenztes Ausgangssignal

**Tabelle 1. Zusammenfassung der wesentlichen Verstärkertypen**

Digital gesteuerte VGAs werden gewählt, wenn die Verstärkung über einen Datenbus einstellbar ist und eine schrittweise Verstärkungsanpassung in der Applikation nicht kritisch ist. Ein analog gesteuerter VGA ist die Lösung, wenn keine digitalen Steuerdaten zur Verfügung stehen oder die Applikation keine schrittweise Verstärkungsvariation tolerieren kann. VGAs werden häufig zur automatischen Verstärkungsregelung (AGC) oder zur Kompensation von Verstärkungsdrift aufgrund von Temperaturschwankungen oder Eigenschaftsänderungen anderer Komponenten eingesetzt.

LNAs, PAs, VGAs und andere Arten von HF-Verstärkern können auch als Breitbandverstärker eingestuft werden, wenn sie für den Betrieb über einen breiten Frequenzbereich (bis zu mehreren Oktaven) ausgelegt sind. Solche Verstärker bieten eine Breitbandverstärkung mit mäßiger Verstärkung, die häufig in Eingangsstufen des Hauptsignalwegs in Breitbandanwendungen benötigt wird. Ein großes Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt geht in der Regel auf Kosten des Wirkungsgrads und des Rauschens.

Ein Treiber ist ein Stromverstärker oder Impedanzwandler zur Anteuering von Komponenten mit niedrigem Eingangswiderstand. Ähnlich wie Treiber wirken Pufferverstärker, die verhin-

dem sollen, dass die Signalquelle von der Last beeinflusst wird. Beispielsweise werden Pufferverstärker häufig eingesetzt, um einen lokalen Oszillator von einer Last zu isolieren.

Betrachtet man eine klassische Superheterodyn-Architektur, so trifft man auf den Zwischenfrequenzverstärker, einen Schmalbandverstärker. Ein Verstärkerblock (Gain Block) ist hingegen ein allgemeiner Verstärkertyp, der in HF-, ZF- oder LO-Signalfaden verwendet werden kann, da er einen flachen Verlauf der Verstärkung und der Rückflussdämpfung bietet. Ergänzt um Filter, wird er zum Schmalbandverstärker. Sein Design umfasst oft interne Anpassungs- und Bias-

schaltungen, die die Integration in eine Signalkette vereinfachen, da nur eine minimale Anzahl externer Komponenten erforderlich ist. Gain Blocks können sowohl für allgemeine als auch für spezifische Anforderungen eingesetzt werden und decken verschiedene Frequenzen, Bandbreiten, Verstärkungen und Ausgangsleistungen ab.

Begrenzungsverstärker liefern eine stabile, komprimierte Ausgangsleistung über einen weiten Eingangsleistungsbereich, Verstärker mit geringem Phasenrauschen sind für Anwendungen mit hoher Signalintegrität optimiert, und logarithmische Verstärker sind im Grunde genommen HF-Gleichspannungswandler, die die

Funktion der HF-Demodulation erfüllen.

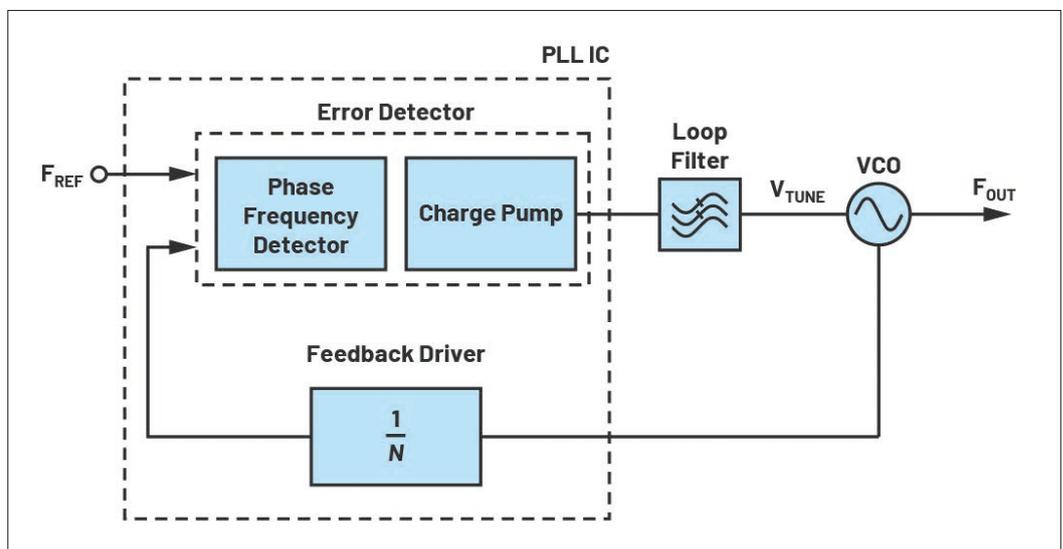
Eine Zusammenfassung der wichtigsten Verstärkertypen bringt Tabelle 1. HF-Verstärker können auch nach anderen Kriterien klassifiziert werden, z.B. nach ihren Betriebsarten (Klasse A, AB, B, C, D) oder nach Montage- oder Prozesstechnologie.

## Frequenzerzeugungs-ICs

Komponenten zur Frequenzerzeugung können in einer HF-Signalkette eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen erfüllen, darunter Frequenzumwandlung,

Wellenformsynthese, Signalmodulation und Taktsignalerzeugung. Je nach Einsatzzweck eines ICs gibt es einige Leistungskriterien, die seine Wahl bestimmen, darunter der Ausgangsfrequenzbereich, die spektrale Reinheit, die Stabilität und die Abstimmgeschwindigkeit. Es gibt eine große Auswahl an Frequenzerzeugungskomponenten, die für verschiedene Anwendungsfälle optimiert sind, darunter spannungsgesteuerte Oszillatoren (VCOs), Phasenregelkreise (PLLs), integrierte Frequenzsynthesizer, Translation Loops und ICs für die direkte digitale Synthese (DDS).

Ein spannungsgesteuerter Oszillator (Voltage Controlled Oscillator, VCO) erzeugt ein Ausgangssignal, dessen Frequenz



**Bild 1: Vereinfachtes Blockschaltbild einer PLL**

# RF-LAMBDA

THE POWER BEYOND EXPECTATIONS

ITAR & ISO9001  
Registered Manufacturer  
Made in USA



## LEADER OF RF BROADBAND SOLUTIONS

### ULTRA BROADBAND LOW NOISE AMPLIFIERS

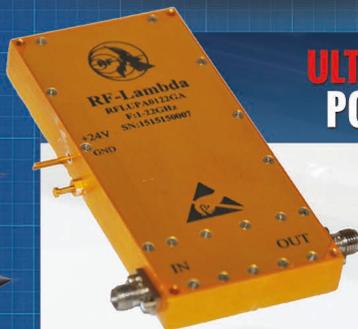


**R50G69GSC**  
(50-69GHz LNA)



**RLNA00M50GA**  
(0.01-50GHz LNA)

### ULTRA BROADBAND POWER AMPLIFIERS



**RFLUPA01G22GA**  
(1-22GHz 8W)



**RFLUPA0618GC**  
(6-18GHz 25W)



**RFLUPA32G38GB**  
(32-38GHz 10W)



**RFLUPA0706GF**  
(0.7-6.0GHz 35W)



### BROADBAND RF SYSTEM AC AMPLIFIERS



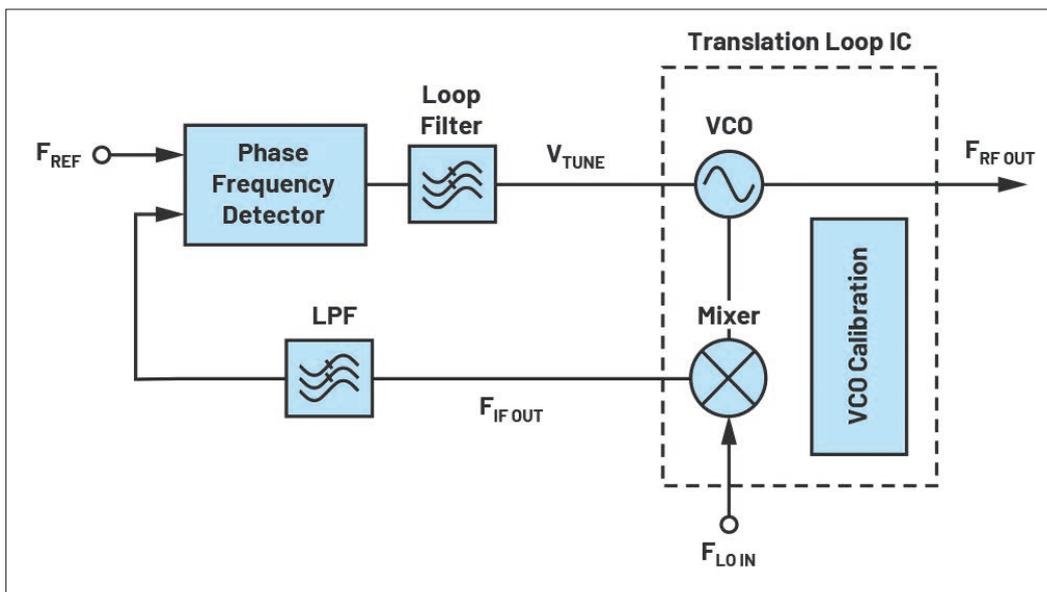
**RAMP27G34GA**  
(27-34GHz 10W)



**RAMP02G06GB**  
(2-6GHz 50W)



[www.rflambda.com](http://www.rflambda.com) 1-888-976-8880 San Diego, CA, US Ottawa, ONT, Canada  
sales@rflambda.com 1-972-767-5998 Carrollton, TX, US Frankfurt, Germany



**Bild 2: Vereinfachtes Blockschaltbild einer Translation Loop**

durch eine externe Eingangsspannung gesteuert wird und kann auf verschiedenen Arten von Resonatoren basieren. Single-Core VCOs, die hochwertige Resonatoren verwenden, bieten ein geringes Phasenrauschen über einen begrenzten Frequenzbereich, während Oszillatoren, die für eine geringere Qualität ausgelegt sind, auf einen Breitbandbetrieb mit mittelmäßigem Rauschverhalten abzielen. Multiband-VCOs, die mehrere geschaltete hochwertige Resonatorschaltungen verwenden, bieten eine alternative Lösung, da sie einen Breitbandbetrieb und ein geringes Phasenrauschen ermöglichen, was jedoch auf Kosten einer langsameren Abstimmgeschwindigkeit geht, die durch die für das Umschalten zwischen verschiedenen Cores erforderliche Zeit begrenzt ist. VCOs werden in der Regel in Verbindung mit Phasenregelkreisen eingesetzt.

Ein Phasenregelkreis (Phase-Locked Loop, PLL) oder PLL-Synthesizer stellt die Stabilität einer VCO-Ausgangsfrequenz sicher. Wie in Bild 1 dargestellt, enthält eine PLL einen Phasendetektor, der eine durch N geteilte VCO-Frequenz mit der Referenzfrequenz vergleicht. Aus der Differenz wird eine Gleichspannung zur Steuerung des VCOs gewonnen. Dies ermöglicht eine

sofortige Korrektur jeglicher Frequenzabweichung und sorgt so für einen stabilen Betrieb des Oszillators. Ein typischer PLL-IC enthält einen Fehlerdetektor – einen Phasenfrequenzdetektor (Phase-Frequency Detector, PFD) mit einer Ladungspumpe – und einen Rückkopplungsteiler (gestrichelte Linie) und benötigt noch ein Schleifenfilter, eine Referenzfrequenz und einen VCO, um ein vollständiges Rückkopplungssystem für eine stabile Frequenzzeugung zu bilden.

Die Realisierung dieses Systems kann durch Synthesizer-ICs mit integriertem VCO erheblich vereinfacht werden [1]. Diese ICs kombinieren eine PLL und einen

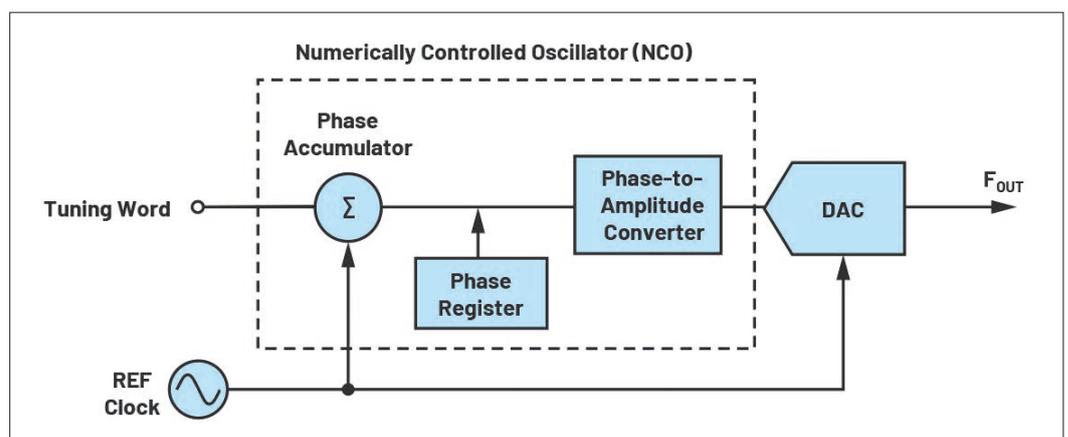
VCO in einem einzigen Gehäuse und benötigen nur eine externe Referenz und einen Schleifenfilter, um die gewünschte Funktion zu realisieren.

Ein integrierter PLL-Synthesizer ist eine vielseitige Lösung mit einem breiten Spektrum an digitaler Steuerung für eine genaue Frequenzzeugung. Er kann häufig integrierte Leistungsteiler, Frequenzvervielfacher, Frequenzteiler und Trackingfilter enthalten, um eine Frequenzabdeckung von bis zu mehreren Oktaven über den Grundtonbereich des integrierten VCOs hinaus zu ermöglichen. Die inhärenten Parameter all dieser Komponenten bestimmen den Ausgangsfrequenzbe-

reich, das Phasenrauschen, den Jitter, die Einrastzeit und andere Merkmale.

Eine Translation Loop ist eine andere Art von Synthesizerlösung, die auf dem PLL-Konzept basiert, aber mit einem anderen Ansatz umgesetzt wird. Wie in Bild 2 dargestellt, wird eine integrierte Abwärtsmischstufe anstelle eines N-Teilers in der Rückkopplungsschleife verwendet, um die Schleifenverstärkung auf 1 zu setzen und das In-Band-Phasenrauschen zu minimieren. Translation-Loop-ICs (gestrichelter Bereich) sind für stark jitter-empfindliche Anwendungen konzipiert und ermöglichen in Kombination mit einem externen PFD und einem LO eine vollständige Frequenzsyntheselösung, geeignet für Messinstrumente in einem kompakten Formfaktor.

Ein DDS-IC ist eine Alternative zu integrierten PLL-Synthesizern, s. Bild 3. Es handelt sich um ein digital gesteuertes System mit einer hochgenauen Referenzfrequenz, die ein Taktsignal darstellt, einem numerisch gesteuerten Oszillator (NCO), der eine digitale Version der angezielten Wellenform erzeugt, und einem DAC, der das endgültige Analogsignal liefert. DDS-ICs bieten hohe Sprunggeschwindigkeiten, eine präzise Feinabstimmung von Frequenz und Phase sowie geringe Ausgangsverzerrungen, was sie für Anwendungen prädestiniert, bei denen überragendes Rauschver-



**Bild 3: Vereinfachtes Blockschaltbild eines DDS (direkt digitaler Synthesizer)**

# RF-LAMBDA

THE LEADER OF RF BROADBAND SOLUTIONS

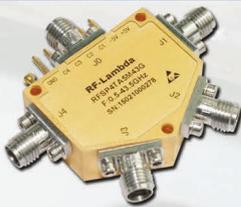


ITAR & ISO9001  
Registered Manufacturer



## PIN DIODE, GaAs AND GaN CONTROL PRODUCTS

### SWITCHES: PIN DIODE, GaAs AND GaN TECHNOLOGY UP TO 67GHZ



**PN: RFSPT4TA5M43G**  
FULL BAND 0.05-43.5GHZ SP4T  
SWITCH 50NS SPEED



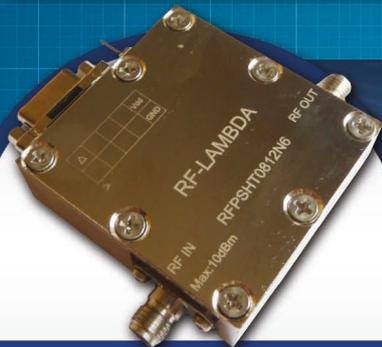
**PN: RFSPT2TRDC18G**  
HIGH POWER 10W DC-18GHZ HOT  
SWITCHABLE SP2T SWITCH



**PN: RFSPT2TR5M06G**  
HIGH POWER 100W DC-6GHZ HOT  
SWITCHABLE SP2T SWITCH



**PN: RFSPT8TA0018G**  
HIGH IP3 50DBM 0.02-18GHZ  
SP8T PIN DIODE SWITCH



**PN: RFPSHT1826N6**  
DIGITAL CONTROL PHASE SHIFTER 360  
DEGREE 64 STEP 18-26GHZ

### DIGITAL AND VOLTAGE CONTROL PHASE SHIFTERS UP TO 40GHZ



**PN: RFPSHT0618N6**  
DIGITAL CONTROL PHASE SHIFTER  
360 DEGREE 64 STEP 6-18GHZ



**PN: RVPT0818GBC**  
VOLTAGE CONTROL PHASE  
SHIFTER 360 DEGREE 8-18GHZ



**PN: RVPT0408GBC**  
VOLTAGE CONTROL PHASE  
SHIFTER 360 DEGREE 4-8GHZ

### DIGITAL AND VOLTAGE CONTROL ATTENUATORS UP TO 50GHZ



**PN: RFDAT0040G5A**  
DIGITAL STEP ATTENUATOR  
0.1-40GHZ 5 BITS 31DB



**PN: RFVAT0218A30**  
VOLTAGE CONTROL ATTENUATOR  
2-18GHZ 30DB IP3 50DBM



**PN: RFVAT0050A17V**  
VOLTAGE CONTROL ATTENUATOR  
0.01-50GHZ 17DB



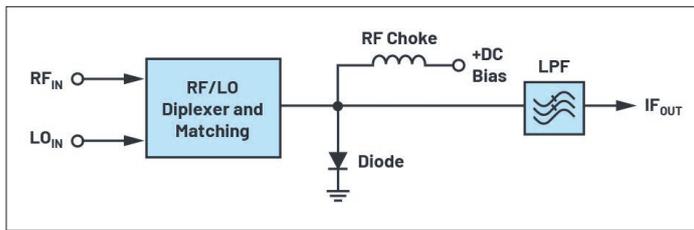
**PN: RFDAT0018G8A**  
DIGITAL STEP ATTENUATOR 0.1-18GHZ  
8 BITS 128DB IP3 50DBM

[www.rflambda.com](http://www.rflambda.com)  
[sales@rflambda.com](mailto:sales@rflambda.com)

1-888-976-8880  
1-972-767-5998

San Diego, CA, US  
Carrollton, TX, US

Ottawa, ONT, Canada  
Frankfurt, Germany



**Bild 4: Konzeptionelle Topologie single-ended Mischer**

halten und hohe Frequenzflexibilität von größter Bedeutung sind [2].

Komponenten zur Frequenzerzeugung werden in einem breiten Spektrum von Anwendungen eingesetzt, die unterschiedliche Anforderungen an ihre Leistung stellen. So erfordern beispielsweise Kommunikationssysteme ein geringes Inband-Rauschen, um eine niedrige Fehlervektorgroße (EVM) aufrechtzuerhalten, Spektrumanalysatoren sind auf lokale Oszillatoren mit schneller Verriegelungszeit angewiesen, um einen schnellen Frequenz-Sweep zu realisieren, und Hochgeschwindigkeitswandler benötigen einen Takt mit geringem Jitter, um ein hohes SNR zu gewährleisten.

## Frequenzvervielfacher

Diese Komponenten nutzen die nichtlinearen Eigenschaften ihrer Elemente, um eine Harmonische des Eingangssignals zu erzeugen (Verdoppler, Verdreifacher, Vervielfacher...).

Bei den nichtlinearen Elementen kann man zwischen passiven (Dioden) und aktiven (Transistoren) unterscheiden. Letztere bieten trotz erforderlicher Versorgungsspannung eine Reihe von Vorteilen gegenüber passiven, darunter die Wandlungsverstärkung, niedrigere mögliche Eingangspegel und eine bessere Unterdrückung der Grundfrequenz.

Frequenzvervielfacher-ICs werden häufig in Verbindung mit VCOs, in PLL-Synthesizer-Designs oder als Teil eines lokalen Oszillatorsignalfads eingesetzt, da sie eine einfache und kostengünstige Lösung zur Erhöhung der Frequenzen bieten.

Alle Arten von Frequenzvervielfachern haben jedoch denselben Nachteil: Sie verschlechtern das Phasenrauschen um mindestens  $20 \log(N)$  dB, wobei N der Multiplikationsfaktor ist. Ein Verdoppler beispielsweise erhöht den Phasenrauschpegel um mindestens 6 dB, was bei der Taktung von schnellen Wandlern und anderen Anwendungen, die auf Phasenrauschen und Jitter empfindlich reagieren, kritisch sein kann [3].

## Frequenzteiler und Prescaler

Frequenzteiler sind meist digitale Schaltungen (Binärzähler oder Schieberegister). Sie sind in Taktverteilungsschaltungen und PLL-Synthesizer-Designs weit verbreitet und werden in vielen Anwendungen eingesetzt. Frequenzteiler können ein festes Teilungsverhältnis haben (Prescaler) oder ein programmierbares Teilungsverhältnis. Die Frequenzteilung durch N verbessert das Phasenrauschen des Ausgangssignals um  $20 \log(N)$  dB. Diese Verbesserung wird jedoch durch die additive Phase eines Frequenzteilers selbst begrenzt, die in seinem aktiven Schaltkreis entsteht und sich zu seinem Ausgangssignal hinzudiert. Ein guter Frequenzteiler hat eine niedrige additive Phase, die zusammen mit einem geringen Oberwellengehalt zu seinen wichtigsten Merkmalen gehört.

## HF-Mischer

Ein additiver Mischer hat nur einen Eingang, an dem sich zwei Signale überlagern. Ein multiplikativer Mischer hat drei Anschlüsse. Jeweils wird ein nichtlineares oder zeitveränderliches Element verwendet, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das die Summe und die

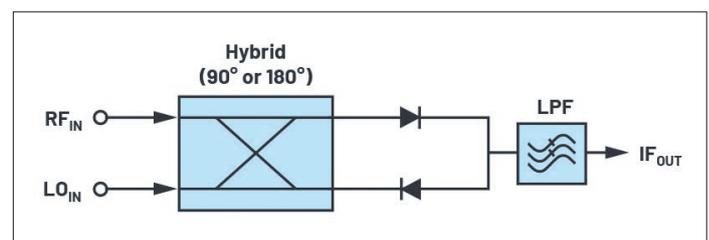
Differenz der Frequenzen zweier Eingangssignale enthält. Passive Mischer verwenden Dioden oder einen FET (ohne Betriebsspannung) als Schalter. Aktive Mischer sind transistorbasiert und verlangen eine Betriebsspannung. Passive Mischer bieten eine große Bandbreite und eine sukzessive mit der Oszillatorleistung mitgehende hohe Linearität, weisen jedoch einen Umwandlungsverlust auf, während aktive Mischer eine Verstärkung bieten und deutlich niedrigere LO-Ansteuerungspegel benötigen. Alternative Designs, die als Abwärts- oder Aufwärtswandler realisiert werden, können einen passiven Miskerkern und eine aktive Schaltung kombinieren, um eine Wandlungsverstärkung zu erzielen, ohne Kompromisse bei NF und Linearität einzugehen [4].

Mischer-ICs gibt es in verschiedensten Ausführungen. Einen diodenbasierten unsymmetrischen Mischer skizziert Bild 4. Single-Ended-Mischer verwenden nur ein nichtlineares Element, was zwar eine einfache Lösung darstellt, aber eine schlechte Isolation zwischen den Ports (LO-RF) und eine hohe Anzahl von Störstellen bedeutet. Symmetrische Mischer haben diese Einschränkungen nicht. Sie lassen sich in einfach, doppelt und dreifach symmetrische Mischer einteilen. Erstere (Bild 5) bestehen aus zwei unsymmetrischen Mischern, die entweder mit einem  $90^\circ$ - oder  $180^\circ$ -Hybrid kombiniert sind. Dieser Mischertyp bietet eine hohe LO-RF-Isolation, gute Unterdrückung von HF- oder LO-Signalen und Unterdrückung selbst von LO-Oberwellen im Ausgang. Eine weitere Performance-Verbesserung kann mit verschiedenen

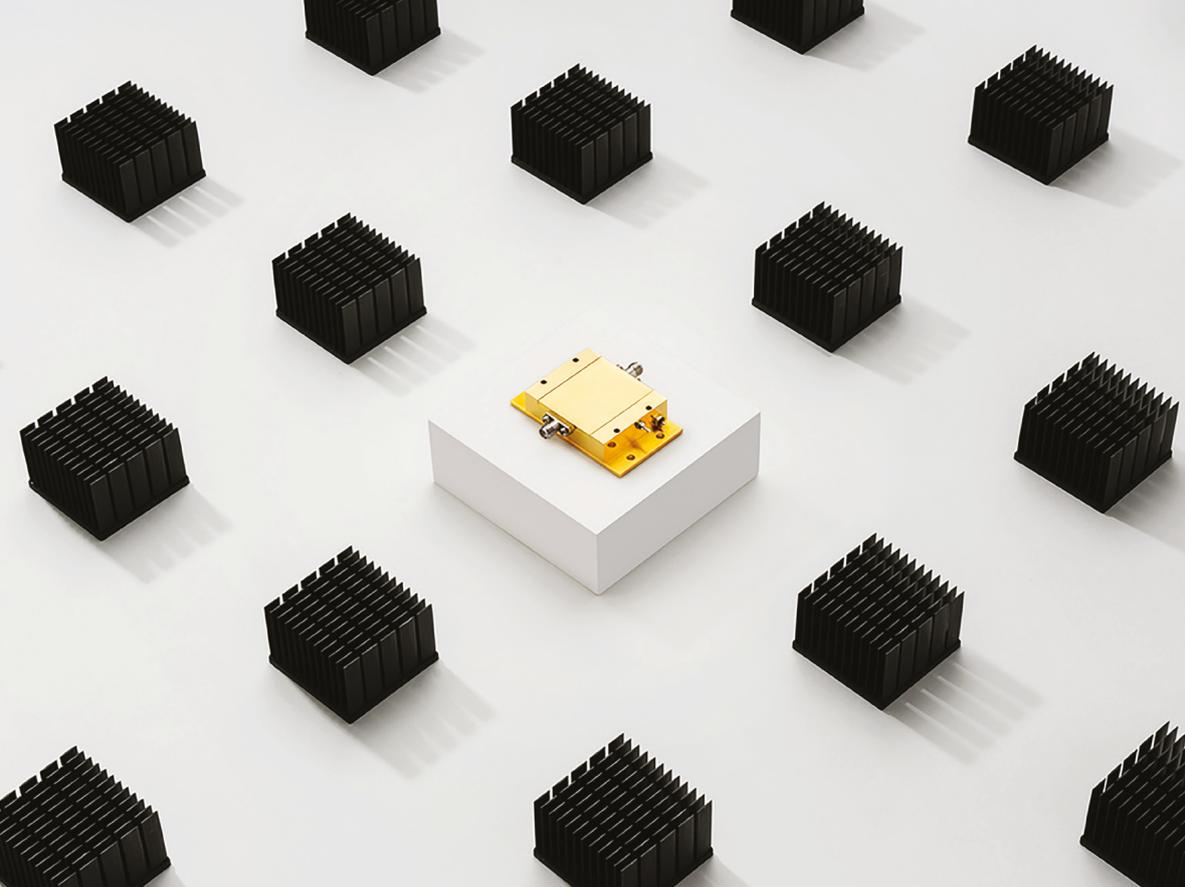
Arten von doppelt symmetrischen Mischern erreicht werden. Ein gängiges Beispiel, das in Bild 6 dargestellt ist, verwendet vier Schottky-Dioden in einer Brückenkonfiguration mit Hybriden an den HF- und LO-Ports. Doppelt symmetrische Mischer bieten eine hohe Gesamt-Performance, was sie zu einem weitverbreiteten Typ von HF-Mischer-IC macht [5]. Eine noch höhere Isolation und Linearität liefern dreifach symmetrische Mischer; hier werden zwei doppelt symmetrische Designs kombiniert.

In-Phase-Quadratur-Mischer (I/Q-Mischer) stellen eine eigene Kategorie von symmetrischen Designs dar. I/Q-Mischer nutzen die Phasenauslöschung, um unerwünschte Spiegelfrequenzen ohne externe Filterung zu eliminieren. Ein gewöhnlicher I/Q-Mischer kann in der Regel als Spiegelfrequenz-Unterdrückungsmischer (Image Reject Mixer, IRM) bei der Abwärtsmischung (Bild 7) oder als Einseitenbandmischer (Single-Side Band, SSB) bei der Aufwärtsmischung betrieben werden. Die I/Q-Mischer mit integriertem Puffer- und Treiberverstärker sind nur für eine der beiden Betriebsarten ausgelegt, was sie in Abwärts- und Aufwärtswandler einteilt. Diese Mischer sind eng verwandt mit einer anderen Art von Frequenzwandler-ICs, den I/Q-Modulatoren und -Demodulatoren. Beide bieten eine hochohmige differentielle Basisbandschnittstelle für die Verwendung mit Datenkonvertern, wodurch sie sich ideal für Transceiver mit Direktumsetzung eignen [6].

Kurz erwähnen wollen wir noch den subharmonischen Mischer.



**Bild 5: Konzeptionelle Topologie single-balanced Mischer**



0.05 MHZ TO 86 GHZ

# High-Frequency Amplifiers

Ultra-Wideband Performance

## Features for Almost Any Requirement Now up to E-Band

- High gain, up to 45 dB
- Noise figure as low as 1.7 dB
- Output power up to 1W
- Rugged designs with built-in protections
- Wide DC input voltage range



### NEW TO MARKET

#### ZVA-71863+ Series

- 71 to 86 GHz
- Low Noise & Medium Power Models

#### ZVA-35703+

- 35 to 71 GHz

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
www.ie4u.de  
anfrage@ie4u.de

DISTRIBUTORS

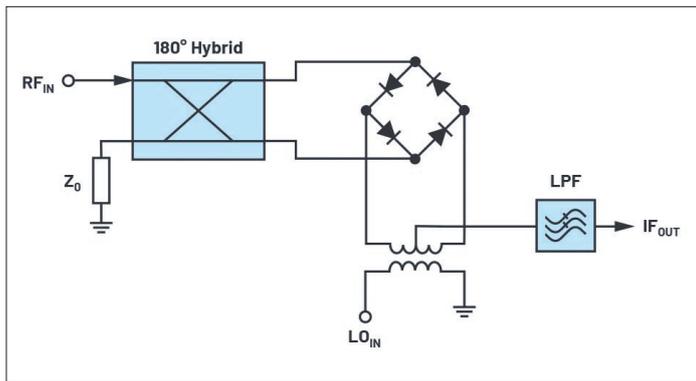
**Mini-Circuits Europe**

Registered in England No 1419461  
Wharf Road, Frimley Green Camberley, Surrey GU16 6LF, England  
Tel 0044-1252-832600 Fax 0044-1252-837010

**Mini-Circuits®**

**municom®**

D-83278 Traunstein, Germany  
Tel. 0049-861-16677-0 Fax 0049-861-16677-88  
info@municom.de www.municom.de



**Bild 6: Konzeptionelle Topologie double-balanced Mischer**

Er enthält einen subharmonisch betriebenen LO und ist eine einfache Lösung für HF-Designs mit niedrigeren LO-Frequenzen ohne externen Frequenzvervielfacher.

### HF/ZF-Filter

Die meisten HF-Anwendungen erfordern eine Filterung über mehrere Frequenzbänder etwa mit geschalteten Filterbänken. Diese Lösung, bei der Schalter und Filter mit fester Bandbreite in einem Modul integriert sind, kann so konzipiert werden, dass sie eine hervorragende Performance in Bezug auf Sperrbandunterdrückung, linearen Dynamikbereich und Schaltgeschwindigkeit bietet. Herkömmliche geschaltete Filterbänke verfügen jedoch nur über begrenzte Bandauswahlmöglichkeiten und sind in der Regel groß und kostspielig. Kompakte abstimmbare Filter-ICs mit kontinuierlicher analoger oder digitaler Abstimmfunktion überwinden diese Einschränkungen, was sie zu einer attraktiven Alternative zu geschalteten festen Filterbänken für den Multibandbetrieb in vielen Anwendungen macht. Abstimmbare analoge Filter sind spannungsgesteuert zur Einstellung der Mitten- und/oder Grenzfrequenzen, während die gewünschte Charakteristik digitaler abstimmbarer Filter über eine digitale Steuerschnittstelle konfiguriert werden kann. Durchstimmbare Filter bieten außergewöhnliche Bandpasseigenschaften, gute Sperrbandunterdrückung, große Abstimmbereiche und schnelle Einschwing-

zeiten, um die anspruchsvollen Anforderungen eines breiten Spektrums heutiger HF-Anwendungen zu erfüllen.

### HF-Schalter

Ein HF-Schalter kann mit verschiedenen Arten von Schaltelementen realisiert werden, z.B. PIN-Dioden, FETs oder mikrosystembearbeitete Cantilever-Schaltwippen. Je nachdem, wie die Schaltelemente angeordnet sind, kann das Design eine unterschiedliche Anzahl von Polen (separate Schaltkreise, die vom Schalter gesteuert werden) und Ausgängen (separate Ausgangswege, die der Schalter für jeden Pol annehmen kann) aufweisen. Einpolige Schalter mit n Ausgängen (SPnT) leiten Signale von einem Eingang zu n Ausgängen. Etwa ein einpoliger Vierwege-Umschalter (SP4T) leitet das Eingangssignal an einen von vier Ausgangspfaden weiter. Haben HF-Schalter mehrere Pole, spricht man von Transfer-

schaltern. Das häufigste Beispiel ist eine zweipolige Umschaltkonfiguration (DPDT) mit zwei separaten Schaltkreisen, die an einen der beiden Ausgangspfade angeschlossen werden können.

HF-Schalter-Designs können komplexere Topologien aufweisen, bei denen mehrere Schalter einer niedrigeren Ordnung kombiniert werden. Diese ICs sind als Schaltmatrix- oder Kreuzpunktschalter bekannt. Sie ermöglichen eine flexible Weiterleitung von HF-Signalen zwischen mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen.

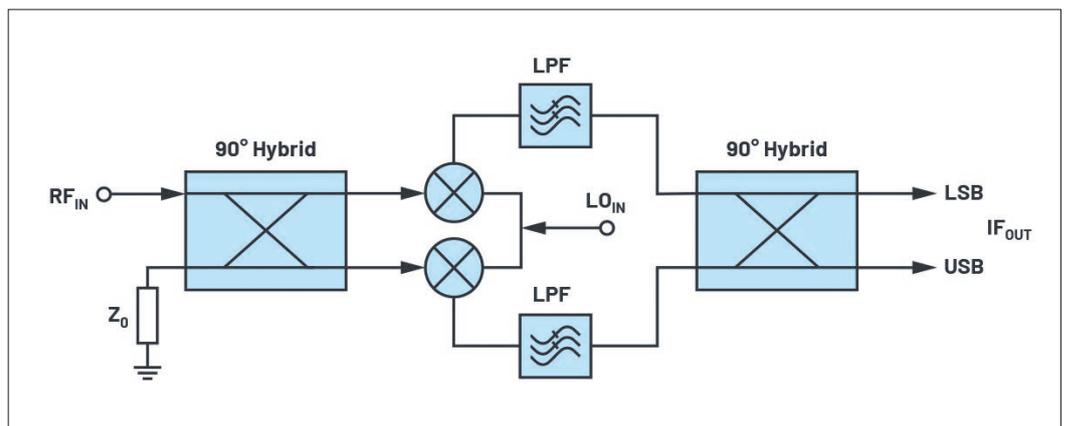
Unabhängig von der Schalterkonfiguration lässt sich zwischen reflektierenden Schaltern und absorbierenden (terminierten) Schaltern unterscheiden. Absorbierende Schalter enthalten eine angepasste Last, daher ist keine Reflexion möglich. Schalter-ICs können in verschiedenen Technologien implementiert werden, darunter die siliziumbasierten Halbleitertechnologien CMOS und Silicon On Isolator (SOI), die Verbindungshalbleitertechnologien GaAs und GaN sowie mikroelektromechanische Systeme (MEMS) [7, 8]. Jede Technologie geht verschiedene Kompromisse zwischen wichtigen Parametern wie Frequenzbereich, Leistungsübertragungsfähigkeit, Isolation, Einfügungsdämpfung, Schaltgeschwindigkeit und Einschwingzeit ein. So ist GaAs beispielsweise für Hochtemperaturanwendungen vorzuziehen, GaN wird häufig in Hochleistungsan-

wendungen eingesetzt, und der siliziumbasierte Prozess hat Vorteile bei Einschwingzeit, Integration, niedrigeren Frequenzen und ESD-Robustheit. Die alternative MEMS-Technologie bietet ein mikromechanisches Relais in einem kleinen Chipgehäuse. Sie ermöglicht eine einzigartige DC-Präzision mit hoher Linearität und Leistung, wobei reduzierte Schaltgeschwindigkeit, endliche Zykluslebensdauer und begrenzte Leistungspegel beim Hot-Switching in Kauf genommen werden müssen.

Bild 8 bringt Beispiele.

### HF-Dämpfungsglieder

HF-Dämpfungsglieder werden zur Anpassung der Verstärkung und zum Ausgleich der Impedanz in der Signalkette verwendet. Man unterscheidet zwischen Dämpfungsgliedern, die einen festen Dämpfungswert haben, und variablen Dämpfungsgliedern. ICs mit variablen Dämpfungsgliedern, die über eine Reihe diskreter Dämpfungsstufen verfügen, werden als digitale Stufendämpfungsglieder (Digital Step Attenuators, DSAs) bezeichnet und in der Regel für die grobe Signalkalibrierung eingesetzt. Für die Feinsignalsteuerung werden spannungsvariable Dämpfungsglieder (Voltage Variable Attenuators, VVAs) verwendet. Alle Arten von HF-Dämpfungsgliedern sollten einen flachen Dämpfungsverlauf mit einem guten SWR über den gesamten Betriebsfrequenzbereich bieten,



**Bild 7: Mischstufe zur Spiegelfrequenzunterdrückung**

US MSRP  
\$7995



300 KHZ TO 6 GHZ

# Introducing the eVNA

A high-quality, affordable VNA from the world's trusted partner for all things RF

## DYNAMIC RANGE

>120 dB

## TRACE NOISE

<0.008 dBrms

## OUTPUT POWER

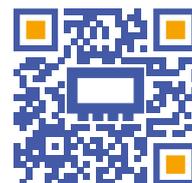
-50 to +7 dBm

- 2-Port 2-Path S-Parameters
- Built-in Bias Tee Accessible on Both Ports
- API for Windows and LabView
- SCPI Command Interface
- Touchstone File Import and Export
- Size: 10" x 8" x 1.75"
- Time Domain and Gating
- Port Extension De-Embedding
- eMCal (Electronic Calibration)
- Yearly Factory Calibration
- 3 Year Warranty
- Weight: 4.5 kg / 9.92 lbs

Complete line of calibration kits and accessories available.

Find Us at IMS 2022, Booth #9030

LEARN MORE



 Mini-Circuits®

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

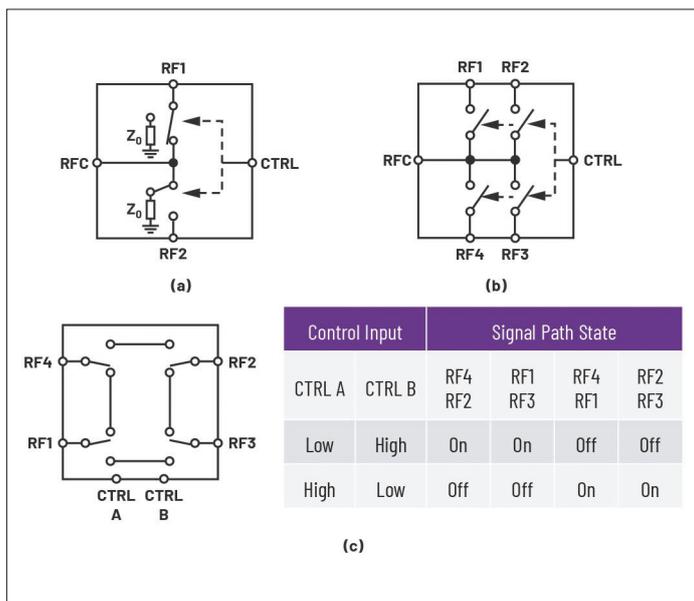
D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
www.ie4u.de  
anfrage@ie4u.de

**Mini-Circuits Europe**

Registered in England No 1419461  
Wharf Road, Frimley Green Camberley, Surrey GU16 6LF, England  
Tel 0044-1252-832600 Fax 0044-1252-837010

**municom®**

D-83278 Traunstein, Germany  
Tel. 0049-861-16677-0 Fax 0049-861-16677-88  
info@municom.de www.municom.de



**Bild 8. Beispiele für HF-Schalter: (a) absorptiver SPDT, (b) reflektiver SP4T und (c) Schalter, gesteuert mit Wahrheitstabelle (Anmerkung: RFn = HF-Pfad, CTRL = Steuerspannungsanschluss)**

während die DSAs auch einen störimpulsfreien Betrieb gewährleisten müssen [7].

## HF-Dektoren

Im Gegensatz zu diskreten diodenbasierten Detektoren bieten integrierte HF-Dektoren eine Reihe von Vorteilen, darunter eine stabile Ausgangsspannung über einen weiten Temperaturbereich, eine einfachere Kalibrierung und einen gepufferten Ausgang für eine direkte Schnittstelle mit einem ADC [9]. Die meisten gängigen HF-Detektor-ICs sind skalare Detektoren für eine Vielzahl von Anwendungen. Zu den wichtigsten Typen von Skalardetektoren gehören Effektivwertdetektoren, logarithmische Detektoren und Hüllkurvendetektoren.

RMS-Leistungsdetektoren liefern den Effektivwert des Signalpegels. Es gibt Effektivwertdetektoren mit linearer und logarithmischer Funktion (Pegelmesser, „Linear-in-dB“-Funktion), wo sich bei jeder dB-Änderung die Ausgangsspannung um den gleichen Betrag ändert. Beide Arten von Effektivwertdetektoren eignen sich ideal für die wellenformunabhängige Leistungsmessung von komplexen modulierten Signalen

mit hohem Crest-Faktor, die sich im Laufe der Zeit ändern, in Anwendungen, die keine schnelle Ansprechzeit erfordern. Sie werden typischerweise für die Überwachung der durchschnittlichen Leistung, für die Anzeige der Sendersignalstärke (TSSI), für die Anzeige der Empfangssignalstärke (RSSI) und die automatische Verstärkungsregelung (AGC) verwendet.

Logarithmische Detektoren (auch bekannt als logarithmische Verstärker) bieten einen sehr hohen Dynamikbereich. Dies wird durch sukzessive Kompression erreicht, basierend auf einer Kaskade von Begrenzungverstärkern, deren Ausgänge jeweils über Detektoren geführt und am Ausgang der Kaskade aufsummiert werden. Mit zunehmender Eingangsleistung gehen die aufeinanderfolgenden Verstärker einer nach dem anderen in die Sättigung und erzeugen so eine Annäherung an die Logarithmusfunktion. Logarithmusdetektoren eignen sich also sehr gut für Anwendungen mit hohem Dynamikbereich einschließlich RSSI und HF-Eingangsschutz.

Ein logarithmischer Videoverstärker mit sukzessiver Detektion (SDLVA) ist ein spezieller Typ eines logarithmischen Detektors,

der einen flachen Frequenzgang und hervorragende Anstiegs-/ Abfall- und Verzögerungszeiten bietet. Dies macht ihn zur bevorzugten Lösung für Anwendungen, die eine sehr hohe Geschwindigkeit erfordern, wie z.B. die Messung von Momentanfrequenzen in Peilempfängern und Anwendungen der elektronischen Intelligenz.

Hüllkurvendektoren (auch bekannt als Spitzendetektoren oder AM-Dektoren) liefern eine Ausgangsspannung, die proportional zur momentanen Amplitude des HF-Eingangssignals ist. Hüllkurvendetektor-ICs werden in der Regel mit schnell schaltenden Schottky-Dioden realisiert, was sie zu einer idealen Lösung für Anwendungen mit geringerem Dynamikbereich macht, die sehr schnelle Reaktionszeiten erfordern. Typische Anwendungen sind die effizienzsteigernde Hüllkurvenverfolgung bei der PA-Bias-Steuerung, die PA-Linearisierung, der schnelle Schutz vor übermäßiger HF-Leistung, die hochauflösende Impulserkennung und die LO-Lecksignalkorrektur von I/Q-Modulatoren.

Neben den skalaren Detektoren gibt es noch eine weitere Kategorie von integrierten Detektoren, die sogenannten Vektorleistungsmess-ICs. Sie bieten erweiterte Fähigkeiten, die über die Funktionalität der skalaren Leistungsmessung hinausgehen [10]. Vektorielle Leistungsmessungsdetektoren können mehrere Parameter eines Signals messen einschließlich seiner Größe und Phase. Diese Art von Geräten ist eine ideale Lösung für die Inline-Messung von Streuparametern in zahlreichen Anwendungen, darunter die Antennenabstimmung in Sendern, die integrierte Prüfung in modularen Systemen und die Materialanalyse.

## Referenzen

[1] Ian Collins und David Mailoux. „Revolution and Evolution in Frequency Synthesis: How PLL/VCO Technology Has Increased Performance, Decreased

Size, and Simplified Design Cycle.” Analog Devices, Inc., Januar 2020.

[2] Jim Surber und Leo McHugh. „Single-Chip Direct Digital Synthesis vs. the Analog PLL.” Analog Dialogue, Vol. 30, No. 3, Juli 1996.

[3] Hittite Microwave Corp. „Active Multipliers and Dividers to Simplify Synthesizers.” Microwave Journal, November 2002.

[4] Thomas Schiltz, Bill Beckwith, Dong Wang und Doug Stutzle. „Passive Mixers Increase Gain and Decrease Noise When Compared to Active Mixers in Downconverter Applications.” Analog Devices, Inc., Oktober 2010.

[5] David M. Pozar. Microwave Engineering, 4th edition, Wiley, 2011.

[6] Abhishek Kapoor und Assaf Toledano. „The Changing Landscape of Frequency Mixing Components.” Analog Devices, Inc., September 2016.

[7] Bilge Bayrakci. „RF and MW Control Products in Silicon.” Analog Devices, Inc., März 2016.

[8] Eric Carty, Padraig Fitzgerald und Padraig McDaid. „The Fundamentals of Analog Devices’ Revolutionary MEMS Switch Technology.” Analog Devices, Inc., November 2016.

[9] Eamon Nash. „Understanding, Operating, and Interfacing to Integrated Diode-Based RF Detectors.” Analog Devices, Inc., November 2015.

[10] Eamon Nash und Eberhard Brunner. „An Integrated Bidirectional Bridge with Dual RMS Detectors for RF Power and Return-Loss Measurement.” Analog Dialogue, Vol. 52, No. 2, Mai 2018.

[11] „RF, Microwave, and Millimeter Wave Products Selection Guide 2020.” Analog Devices, Inc., August 2020. ◀



## MMWAVE FILTERS

# LTCC Meets 5G

The World's Widest Selection

- Band pass filters optimized for n257, n258, n260 and n261 5G bands
- Low pass filters with passbands up to 30.5 GHz
- High pass filters fco from 28 to 36 GHz
- Rejection up to 40 dB
- Proprietary material systems and distributed topologies
- Pick-and-place standard case styles



 **Mini-Circuits®**

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL GMBH**  
**ELECTRONICS**

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
www.ie4u.de  
anfrage@ie4u.de

**Mini-Circuits Europe**

Registered in England No 1419461  
Wharf Road, Frimley Green Camberley, Surrey GU16 6LF, England  
Tel 0044-1252-832600 Fax 0044-1252-837010

**municom®**

D-83278 Traunstein, Germany  
Tel. 0049-861-16677-0 Fax 0049-861-16677-88  
info@municom.de www.municom.de

## 5G Broadcast bereit für Kommerzialisierung



Spinner 5G Broadcast Maskenfilter, das für die Live-Präsentation eingesetzt wurde

Die ersten 5G Broadcast (auch bekannt als LTE-basierter terrestrischer 5G-Rundfunk) auf der Grundlage des FeMBMS-Standards wurden bereits vor einigen Jahren durchgeführt. FeMBMS steht für Further evolved Multi-

media Broadcast Multicast Service und ist eine Erweiterung von eMBMS, auch bekannt als LTE Broadcast, welches im Zuge des 3GPP Release 14 eingeführt wurde. Es ermöglicht die 100%-ige Nutzung der ver-

fügbaren Übertragungskapazität für Rundfunkdienste.

### Mögliche Anwendungen

Die möglichen Anwendungen reichen von Hochleistungsstationen, die im Einzelfrequenzmodus arbeiten und große Gebiete versorgen, bis hin zu Testfeldern mit geringer Leistung innerhalb eines lokalen Veranstaltungsorts. Obwohl sich die Testtechnologie weiterentwickelte, waren zu diesem Zeitpunkt noch keine für die 5G-Übertragung geeigneten kommerziellen Mobilgeräte auf dem Markt verfügbar. Anfang dieses Jahres verlagerte sich der Schwerpunkt auf diese Empfangsgeräte.

Die 5G-Broadcast-Lösung basierte auf dem 3GPP Release 16-Feature Set und lief im Free-to-Air-Modus (FTA) im rei-

nen Empfangsmodus (ROM) ohne die Notwendigkeit einer SIM-Karte. Der dedizierte 5G-Broadcast-Modus wurde im UHF-Band mit einem eigenständigen High-Power-High-Tower (HPHT)-Broadcasting-Setup demonstriert.

5G Broadcast ermöglicht eine breite Palette von Anwendungen, z.B. auch für die Automobilindustrie. Obwohl viele der Praxisversuche die Übertragung von Live-Inhalten demonstrieren, beschränkt sich 5G Broadcast nicht auf solche Anwendungen. Wann immer es sinnvoll ist, Daten an mehrere Empfänger gleichzeitig zu senden, stellt es eine effiziente Ergänzung zu den Mobilfunknetzen dar.

■ *Spinner GmbH*  
[www.spinner-group.com/de/](http://www.spinner-group.com/de/)

## Präzisionsmaterialien machen 5G-Schaltkreise erst möglich

Der neue, schnelle 5G-Mobilfunk arbeitet mit Frequenzen im Bereich von 28 Gigahertz und höher. Damit eine solche anspruchsvolle technische Infrastruktur reibungslos arbeiten kann, ist in Basisstationen und Endgeräten der Einsatz sehr spezieller Materialien notwendig: Sie dürfen die hochempfindlichen elektronischen Schaltkreise nicht beeinträchtigen und die Signale nicht verzerren oder dämpfen. Mit ihren RO4835T-Laminaten und RO4450T-Bonding-Materialien bedient die Rogers Corporation diesen schnell wachsenden Markt.

Rogers' RO4835T glasfaserverstärkte, keramikgefüllte Laminat sind verlustarme Materialien in den Stärken 2,5, 3 und 4 mil (63,5, 76,2 und 100 µm). Sie sind ideal einsetzbar als wesentliches Element des inneren Aufbaus von 5G-Hybrid-Multilayer-Leiterplatten und ähnlichen



Schaltungen im Millimeterwellenbereich. Diese Laminat lassen sich mit anderen Materialien kombinieren, um die vielen komplexen Funktionen bereitzustellen, die von 5G-Mobilfunk-Basisstationen benötigt werden. Das gilt für alle Komponenten solcher Systeme, einschließlich

Stromversorgung, Signalsteuerung und Signalübertragung. Mit seinen Bonding-Materialien RO4450T – erhältlich in Stärken von 3, 4 und 5 mil (76,2, 100 und 125 µm) – unterstützt Rogers den Aufbau dieser 5G-Hybrid-Multilayer-Schaltungen. Diese glasfaserverstärkten und intern mit Keramikwerkstoffen beschichteten Folien ergänzen das Spektrum der unterschiedlichen Materialien, aus denen diese Hybrid-schaltungen aufgebaut sind – einschließlich der RO4835T- und RO4000-Laminat von Rogers. Darüber hinaus sorgen Rogers CU4000- und CU4000-LoPro-Folien in zahlreichen 5G-Hybrid-Multilayer-Schaltungen dafür, dass die elektrischen und elektromagnetischen Spezifikationen exakt eingehalten werden.

■ *Rogers Germany GmbH*  
[www.rogerscorp.com/pes](http://www.rogerscorp.com/pes)

# Millimeterwellen-5G-Chipsatz



Analog Devices, Inc. stellte einen Millimeterwellen-5G-Frontend-Chipsatz vor, der die erforderlichen Frequenzbänder abdeckt und es Designern erlaubt, die Komplexität zu reduzieren und in kürzerer Zeit mit kleineren, vielseitigeren Funk-Lösungen auf den Markt zu kommen. Der Chipsatz besteht aus vier hochintegrierten ICs und sorgt als Komplettlösung dafür, dass sich 5G-Funkeinheiten im Bereich von 24 bis 47 GHz mit deutlich weniger Bauelementen realisieren lassen.

## Background

Angeht die weltweit steigende Verbreitung der 5G-Technik sind die Betreiber zunehmend gefordert, die Rollout-Kosten zu senken und ihre Netzabdeckung gleichzeitig durch energieeffizientere, leichtere und zuverlässigere Funkeinheiten zu erweitern. Notwendig hierfür sind hochgradig lineare, kompakte und energieeffiziente Breitband-Produkte, die die Wiederverwendung vorhandener Designs in mehreren Frequenzbändern zulassen, ohne dass Kompromisse an der Qualität oder der Leistungsfähigkeit erforderlich

sind. Der mmW-Frontend-Chipsatz von ADI gestattet OEMs eine Abkehr vom Schmalband-Paradigma, bei dem konkurrierende Lösungen weniger Bandbreite in Kauf genommen haben, um die Designumsetzung zu vereinfachen und die HF-Performance zu verbessern, und bei denen gleichzeitig entscheidende Intellectual-Property-Elemente wie etwa Packaging, Test und thermische Modellierung ausgelagert wurden.

## Aufbau

Der neue Chipsatz besteht aus zwei einkanaligen (1T1R) Auf-/Abwärtswandlern (Up-/Downconverters, UDCs) und zwei 16-kanaligen Dual-Polarisations-Beamformern auf der Basis eines fortschrittlichen CMOS-Prozesses. Die von den Beamformern gebotene Energieeffizienz und lineare Ausgangsleistung macht es möglich, Abmessungen, Gewicht, Stromverbrauch und Kosten von mmW-basierten Phased-Array-Designs gegenüber konkurrierenden Lösungen zu reduzieren. Die Fullband-UDCs mit ihren hohen Treiberpegeln machen Varianten für bestimmte Fre-

quenzbänder überflüssig und ermöglichen überdies den Verzicht auf separate Treiberstufen, sodass sich der Bauteileaufwand verringert. Nicht zuletzt gestattet der Chipsatz die problemlose Nutzung von Phased-Array-Kalibrierfunktionen bei laufendem Betrieb im Feld, zusätzlich zum werksseitigen Abgleich mit patentiertem IP im nichtflüchtigen Speicher (NVM). OEMs vermeiden hierdurch die Restriktionen der bisherigen, rein NVM-basierten Designs, die nur eine einmalige, werksseitige Kalibrierung des Beamformers ermöglichten, ohne Nicht-Idealitäten außerhalb der ICs zu berücksichtigen, was zu suboptimalen Kalibrierresultaten führte. Der mmW 5G-Frontend-Chipsatz von Analog Devices besteht aus folgenden Komponenten:

### • ADMV4828

16-kanaliger Single-Chip-Beamformer für das gesamte Band von 24...29,5 GHz mit einer Ausgangsleistung von >12,5 dBm bei 3% EVM mit einem 400 MHz 64QAM 5G Signal. Die Leistungsaufnahme beträgt dabei lediglich 310 mW pro Kanal: [www.analog.com/admv4828](http://www.analog.com/admv4828)

### • ADMV4928

16-kanaliger Singlechip-Beamformer für das gesamte Band von 37 bis 43,5 GHz mit einer Ausgangsleistung von >11,5 dBm bei 3% EVM mit einem 400 MHz 64QAM 5G Signal sowie einer Leistungsaufnahme von nur 340 mW pro Kanal: [www.analog.com/admv4928](http://www.analog.com/admv4928)

### • ADMV1128

Breitband-UDC (24 bis 29,5 GHz) mit optionalem, Onchip-HF-Schalter und hybriden x2/x4-LO-Multiplizierer-Betriebsarten sowie Basisband-IQ-Unterstützung: [www.analog.com/admv1128](http://www.analog.com/admv1128)

### • ADMV1139

Breitband-UDC (37 bis 50 GHz) für das künftige 47-GHz-Band sowie die 5G-NR-Bänder von 37 bis 43,5 GHz in Singlechip-Ausführung mit optionalem, chipintegriertem HF-Switch-, Hybrid- und Basisband-IQ-Unterstützung: [www.analog.com/admv1139](http://www.analog.com/admv1139)

■ Analog Devices, Inc.  
[www.analog.com](http://www.analog.com)



## Fachartikel, Pressemitteilung oder Fachbuch schreiben – aber wie?

Erfahrener Autor und Lektor des beam-Verlags zeigt Ihnen den optimalen Weg und begleitet Sie bis zum Ziel.

Kontakt: [frank.sichla@gmx.de](mailto:frank.sichla@gmx.de)

# Millimeterwellen-Frequenzerweiterung für eine erschwingliche 5G-Prüflösung



Mit dem neuen Millimeterwellen-Frequenzerweiterungs-System von Copper Mountain lässt sich eine skalierbare und erschwingliche 5G-Prüflösung aufbauen. Mit dem CobaltFx-System stellt Copper Mountain die erste Millimeterwellen-Frequenzerweiterungslösung vor, die durch einen 9- oder 20-GHz-VNA verankert werden kann. Jedes Frequenzband kann nach Bedarf in die CobaltFx-Lösung integriert werden, was eine einfache Erweiterung des Spektrums der in der Entwicklung und Produktion getesteten 5G-Kom-

ponenten und -Produkte ermöglicht. Das CobaltFx-System eignet sich besonders für Materialcharakterisierung, Wafer-S-Parameter-Messungen, Automobil-Radar- und Sensortests. Die Test-Automatisierungsanwendungen können in LabVIEW, Python, MATLAB, .NET usw. programmiert werden.

Die Extender sind in kleinen Gehäusen untergebracht, die eine flexible Anordnung der Anschlüsse ermöglichen. Folgende CobaltFx-Extender-Modelle sind standardmäßig

erhältlich: FET1854 (18...54 GHz), FEV-15 (50...75 GHz), FEV-12 (60...90 GHz) und FEV-10 (75...110 GHz). Auf Anfrage sind folgende Modelle erhältlich: WR8 (90...140 GHz), WR6.5 (110...170 GHz), WR5.1 (140...220 GHz), WR4.3 (170...260 GHz) und WR3.4 (220...330 GHz). Das System wird mit allen erforderlichen Kabeln in Standardlänge geliefert, die Gesamtkosten des Systems hängen vom gewählten VNA ab.

Alle mit dem CobaltFx-System kompatiblen VNAs gehören zur Cobalt-Serie von Copper Mountain und zeichnen sich durch hohe Sweep-Geschwindigkeiten von bis zu 0,2  $\mu$ s pro Punkt, einen Dynamikbereich von bis zu 152 dB und einen kompakten USB-Formfaktor aus. Die USB-VNAs von Copper Mountain sind Analysatoren der nächsten Generation und auf die Bedürfnisse des 21. Jahrhunderts zugeschnitten. Sie umfassen ein HF-Messmodul und ein Verarbeitungsmodul, eine Software-Anwendung, die auf einem Windows- oder Linux-PC, Laptop oder Tablet läuft und sind über eine USB-Schnittstelle mit der

Mess-Hardware verbunden. Dieser innovative Ansatz bietet eine hohe Messgenauigkeit und ermöglicht es den Benutzern, die Vorteile schnellerer Prozessoren, neuerer Computer und größerer Displays zu nutzen. Die USB-VNAs sind klein und leicht, sie können fast überallhin mitgenommen werden und machen in sicheren Umgebungen eine Datenbereinigung oder das Entfernen der Festplatte überflüssig.

Die CobaltFx-Modelle FET und FEV arbeiten mit dem 2-Port 9 GHz VNA C4209, dem 4-Port 9 GHz VNA C4409, dem 2-Port 20 GHz VNA C4220 und dem 4-Port 20 GHz VNA C4420. Die CobaltFx-Modelle WR (auf Anfrage) arbeiten mit dem 2-Port 20 GHz VNA C4220 (1 Booster-Kit erforderlich) und dem 4-Port 20 GHz VNA C4420 (2 Booster-Kits erforderlich). Die FEV-Frequenzerweiterungsmodulare wurden in Zusammenarbeit mit Farran Technology entwickelt, einer weltweit anerkannten Marke in der Millimeterwellen-entwicklung.

■ Meilhaus Electronic GmbH  
www.meilhaus.com

## Neu für Industrial IoT: 5G-Multiband-Basisstationsantenne



PCTEL präsentiert mit der 5G-IIoT-Antenne BOA-5G2X2L125-PTNM die neueste Multibandentwicklung für das Industrial Internet of Things und viele weitere Anwendungsgebiete. Neben der Unterstüt-

zung von 5G-Zellularfunk liefert die neue Antenne auch beste Ergebnisse mit anderen Zellulartechnologien wie LTE, 3G oder 2G sowie WiFi. Darüber hinaus ist sie mit einer sehr fortschrittlichen GNSS LNA Schaltung ausgestattet, die mit großer Isolation und Fremdsignalunterdrückung für sehr gute Lokalisierung sorgt. Die neue 5G-IIoT-Antenne BOA-5G2X2L125-PTNM von PCTEL überzeugt neben ihren hervorragenden technischen Eigenschaften auch durch ihre einfache Handhabung. Sie kann sehr einfach in

ihre Applikation integriert werden und ermöglicht mit ihrem sehr robusten, widerstandsfähigen Design lange Produktlebensdauern. Durch die erhöhte Witterungsstabilität eignet sich die BOA5G2X2L125PTNM ideal für das Industrial IoT genauso wie für Bahn- und ITS-Applikationen.

### Die Highlights:

- Wideband Coverage
- Technologies: 5G, Cellular, GSM, PCS, WiFi

- High Rejection GPS LNA Technology
- Polarization: Right Hand Circular
- Dualport MIMO Design
- High-Quality Low-Loss Cable and Connectors
- nominal Impedance: 50 Ohms
- easy to install
- rugged, UV-resistant fiberglass housing

■ CompoTEK GmbH  
www.compotek.de

# Keysight Innovation Challenge 2022



Keysight Technologies hat die Keysight Innovation Challenge 2022 angekündigt, die Studierende auf der ganzen Welt herausfordert, ein oder mehrere Geräte für das Internet der Dinge (IoT) zu entwickeln und abzusichern, mit denen die Welt das Ziel der Vereinten Nationen erreichen kann, bis 2050 klimaneutral zu sein.

## IoT-gestützte Geräte entwickeln

Keysight lädt Studierende dazu ein, an diesem Wettbewerb teilzunehmen, indem sie IoT-gestützte Geräte entwickeln und absichern, die sich mit der Überwachung der Klimaneutralität in Unternehmen oder Gemeinden befassen. Einzelpersonen und Teams konkurrieren um bis zu 30.000 US-Dollar in bar, Geräte von Keysight im Wert von 10.000 US-Dollar für ihre jeweilige Hochschule und Informationsgespräche für potenzielle Praktika und Stellenangebote.

## Nächste Generation von IngenieurInnen

In diesem Jahr trägt Keysight dazu bei, die nächste Generation von Ingenieurinnen zu inspirieren, indem man Studierende auffordert, Teams mit bis zu sechs Mitgliedern zu bilden, in denen gleich viele oder mehr weibliche wie männliche Studierende vertreten sind und die von einer Team-Leiterin geleitet werden. Keysight setzt sich für eine stärkere Vertretung von Frauen in MINT-Berufen auf der ganzen

Welt ein, und das fängt damit an, die Studierenden von heute zu inspirieren. Obwohl junge Mädchen und Jungen sich selbst als gleichwertig ansehen und in MINT-bezogenen Fächern während der High School gleich gut abschneiden, belegen Frauen nur 21% der technischen Studiengänge und stellen nur 28% der MINT-Arbeitskräfte dar (Daten aus den USA).

„Wir bei Keysight sind uns bewusst, dass Frauen der Schlüssel für die Technik der Zukunft sind“, sagte Renee Morad, Keysight Education Solutions Lead und Leiterin des Innovation Challenge Programms. „Wir freuen uns sehr, Studentinnen zu ermutigen, diese Gelegenheit zu nutzen, um ihre Talente zu präsentieren. Das ist nur eine der vielen Möglichkeiten, wie Keysight einen starken und nachhaltigen Pool von globalen Führungskräften inspiriert, die die Technologie zu neuen Höhen führen und die Welt mit reichhaltigen und vielfältigen Perspektiven positiv verändern werden.“

Die Keysight Innovation Challenge ist offen für Anmeldungen, und Beiträge werden zwischen dem 4. April und dem 6. Juni 2022 angenommen. Die fünf besten Beiträge werden im Juni bekanntgegeben, wobei die zugehörigen Teams jeweils ein Stipendium in Höhe von 2500 US-Dollar für die Entwicklung ihrer Innovationen erhalten. Die fünf Teams werden dann mit ihren Innovationen bei einer Abschlussveranstaltung im

September 2022 gegeneinander antreten, bei der die drei besten Gewinnerteams vorgestellt werden.

Ee Huei Sin, Senior Vice President und President der Electronic Industrial Solutions Group bei

Keysight Technologies: „Mit der Keysight Innovation Challenge 2022 rücken wir Studentinnen der Ingenieurwissenschaften neben ihren männlichen Kollegen ins Rampenlicht und bieten ihnen die Möglichkeit, ihre großen Ideen mit der Welt zu teilen. Diese Studentinnen werden Innovationen entwickeln, um das Leben von Frauen – und das Leben aller Menschen – direkt zu verbessern und gleichzeitig dazu beizutragen, unseren Planeten durch verbesserte Nachhaltigkeitsmaßnahmen und die Gleichstellung der Geschlechter wieder ins Gleichgewicht zu bringen.“

■ **Keysight Technologies**  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

Weitere Informationen über die Keysight Innovation Challenge finden Sie unter  
[www.keysightinnovationchallenge.com](http://www.keysightinnovationchallenge.com)

**SSM SUSUMU**  
Thin Film Specialist and Innovator

since 1964

Ultra-High Precision  
**Thin Film Chip Resistor Networks**

Down to 1ppm/K in relative TCR



**Susumu Deutschland GmbH**

[www.susumu.de](http://www.susumu.de)

Frankfurter Str. 63 - 69 | 65760 Eschborn | ☎ +49 (0) 6196/9698407 | [info@susumu.de](mailto:info@susumu.de)

# Es ist nicht zu früh, sich auf 6G vorzubereiten

Die nächste Generation der kabellosen Technologie soll noch schnellere Geschwindigkeiten, geringere Latenzzeiten und eine größere Bandbreite bieten, wodurch riesige Datenmengen über dezentralisierte, intelligente Netze mit mehr Geräten übertragen werden können.



Aktuell befindet sich 5G in der Entwicklungs- und Einrichtungsphase. Es scheint daher verfrüht, schon jetzt für die nächste Generation der kabellosen Kommunikationstechnologie zu planen. Aber angesichts der ehrgeizigen Ziele, die auf der aktuellen Generation aufbauen, ist es durchaus sinnvoll, sich mit den technologischen, regulatorischen, geografischen und bildungspolitischen Herausforderungen zu befassen, die erforderlich sind, um universelles 6G Realität werden zu lassen.

### Historisch gesehen

beginnt die Technologieforschung zehn bis 15 Jahre vor der Entwicklung neuer Industriestandards. Wie schon bei 5G wird auch 6G teilweise eine Weiterentwicklung sein, zum Teil aber auch eine revolutionäre Technologie. Auf jeden Fall kön-



Ron Nersesian  
Keysight Technologies  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

nen wir insgesamt eine schrittweise Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit erwarten.

6G wird die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft beschleunigen und die Welt dem Ziel, eine wirklich globale und digitale Gemeinschaft zu werden, deutlich näherbringen. Bis 2030 soll eine datengesteuerte Gesellschaft entstehen, die durch nahezu sofortige, unbegrenzte kabellose Konnektivität ermöglicht werden wird. 6G wird auf den Funktionen und Möglichkeiten aufbauen, die 5G für vertikale Branchen, die auf Konnektivität in den Bereichen Gesundheitswesen, Fertigung, Energie, Verkehr und öffentliche Sicherheit angewiesen sind, bereitstellen soll. Darüber hinaus wird 6G diese erheblich erweitern – nicht als Neuheit oder für spezielle Anwendungsfälle, sondern als integraler Bestandteil unseres täglichen Lebens.

### Die Anwendungsmöglichkeiten

reichen von der holografischen Kommunikation, die Informationen jenseits von Bild und Ton enthält, über die Entwicklung von digitalen Zwillingen, die weitaus ausgefeilter und umfassender als bisher sein werden, bis hin zur Veränderung der Art und Weise, wie wir Daten durch Machine Learning (ML) und

andere Formen der künstlichen Intelligenz nutzen.

Zudem wird 6G die Grundlage für ein ausgeklügeltes Notfall- und Katastrophen-Management bilden und aus Verbrauchersicht die mobile Kommunikation zu einem noch grundlegenden Bestandteil unseres täglichen Lebens machen – von der Fahrt zur Arbeit über die Erziehung unserer Kinder und das Kochen des Abendessens bis hin zu Gesundheitsfürsorge, Einkäufen und Bankgeschäften.

Die Möglichkeiten sind nahezu endlos, aber wir haben noch einen langen Weg vor uns, bevor 6G Realität wird. Um das Potenzial des Standards ausschöpfen zu können, müssen sich Unternehmen, Regierungen und Innovatoren jedoch zunächst auf die folgenden, wichtigen Schritte konzentrieren:

### Nahtlose Netze durch technische Innovation neu konzipieren

Obwohl 5G ein globaler Standard ist, wird es nicht leicht sein, die nahtlose Integration aller kabellosen Netze – von Bluetooth bis 5G –, der drahtgebundenen Netze – von LAN bis WAN – und sogar nichtterrestrischer Netze schwer zu erreichen. 6G erfordert Funktechnologien der nächsten Generation, die eine nahtlose Nutzung dieser Systeme

und Flexibilität je nach Standort und Bedarf ermöglichen. Und während KI bereits heute in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen eingesetzt wird, müssen wir KI zu einem integralen Bestandteil der 6G-Netzwerkarchitektur machen, um die Leistung, Effizienz und Flexibilität komplexer 6G-Netzwerke dynamisch zu optimieren. Schließlich sind weitere Innovationen in den Bereichen IoT, verbessertes mobiles Breitband und höchst zuverlässige Kommunikation von entscheidender Bedeutung, um die Grundlage für 6G zu schaffen.

### Festlegung globaler Industriestandards

Ein einziger globaler Standard, der für alle Branchen und Regionen gilt, wird Konsistenz und Skaleneffekte bei der 6G-Einführung gewährleisten. Für Einzelheiten ist es zwar noch zu früh, aber der Rahmen für die Entwicklung und Revolution von 6G sollte schon jetzt festgelegt werden. Fest steht auch: Man muss sich zusammenschließen, um 5G-Standards durch gemeinsame Projekte, Versuche und Demonstrationen zu bewerten und weiterzuentwickeln, damit die Anforderungen von 6G frühzeitig erkannt werden können. Innovative Initiativen wie das 6G Flagship Program, ein globales Forschungs- und Co-Creation-Ökosystem für die Einführung von 5G- und 6G-Innovationen, bringen bereits eine Gemeinschaft von Interessenvertretern aus der Industrie zusammen, die an der Entwicklung der für 6G erforderlichen grundlegenden Technologien arbeiten.

### Einen proaktiven Ansatz für Cybersecurity verfolgen

Jede neue mobile kabellose Generation steht vor zweierlei Herausforderungen im Bereich

Cybersecurity: den Schwachstellen der vorherigen Generation sowie neuen Schwachstellen, die durch die erweiterte Bedrohungsfläche der neuen Generation entstehen.

5G verfügt über eine bessere Verschlüsselung und Sicherheitsarchitektur als 4G, wird aber auch in einer viel breiteren Palette von Anwendungen mit einer größeren Anzahl verbundener Geräte eingesetzt. Die Vision für 6G ist eine noch ausgefeiltere Reihe von Nutzungsmodellen und damit ein größeres Ziel für dynamische, softwarebasierte Cyber-Bedrohungen. Und da die IoT-Anwendungen zunehmen, stellt jedes einzelne der Milliarden angeschlossenen Geräte in den Netzen einen potenziellen Einstiegspunkt für Angreifer dar.

Alle 6G-Teilnehmer – von Mobilfunkbetreibern über Zulieferer und deren Kunden bis hin zu Entwicklern von Over-

the-Top-Anwendungen – müssen neue Sicherheits-, Test- und Schulungsstandards einführen und übernehmen. Anschließend sollte Cybersecurity in die Software-Architektur und den Entwicklungszyklus integriert werden, und zwar mit eingebauten Schutzmechanismen, die Schwachstellen erkennen und Netzwerke im Falle eines Verstoßes schnell wiederherstellen. Damit wird das Risiko für die Entwicklung und den Betrieb von 6G im gesamten Ökosystem verringert.

#### Politik zur Förderung von Innovation, Zugänglichkeit und Sicherheit

Schon heute können politische Entscheidungsträger für die rechtlichen Grundlagen für 6G sorgen. In Zusammenarbeit mit Branchenführern müssen sie Richtlinien schaffen, die die Industrie befähigen und Menschen

und ihre Daten in unternehmenskritischen Anwendungen wie autonomen Fahrzeugen, Gesundheitswesen, Militär, intelligenten Städten und mehr schützen.

Die wirtschaftlichen, bildungspolitischen und sozialen Ungleichheiten zwischen denen, die einen Internetzugang haben, und denen, die keinen haben, nehmen zu. Die ersten Visionen des europäischen Hexa-X-Projekts für 6G zielen darauf ab, diese digitale Kluft zu schließen. Um 6G in ländlichen oder einkommensschwachen Gebieten zugänglich zu machen, ist jedoch eine öffentlich-private Zusammenarbeit erforderlich.

#### Förderung der nächsten Generation von Ingenieuren

Damit 6G Wirklichkeit werden kann, muss die nächste Generation von Forschern, Wissenschaftlern, Physikern und Ingenieuren motiviert und gut ausgebil-

det werden. Die Elektrotechnik, von der Digitaltechnik über die Funktechnik bis hin zur Halbleitertechnik, wird zusammen mit vielen Facetten der Informatik in diesem Bereich weiterhin von entscheidender Bedeutung sein. Darüber hinaus benötigen die zukünftigen Problemlöser im Bereich der Konnektivität eine ganzheitliche, multidisziplinäre Ausbildung, denn nur so können sie eine Karriere einschlagen, die eine Vielzahl von Technologien umfasst.

Unternehmen und Bildungseinrichtungen sollten zusammenarbeiten, um die Qualifikationslücke zu schließen, indem sie das Interesse und die Fähigkeiten in den MINT-Fächern steigern und die einzigartige und lohnende Möglichkeit hervorheben, die Zukunft der kabellosen Technologie zu gestalten. ◀

# Next-Generation RF Solutions for Mission Critical Systems

The Industry's Most Reliable, High-Performance GaN & GaAs Solutions



Part Number	Frequency Range (GHz)	Psat (dBm)	Gain (dB)	Supply Voltage (V)
CMD242K4	DC-40	20	10.5	8
QPD1028	1.2-1.4	59	18	65
QPA2213D	2-20	34	16	18
QPM2100	2.5-4	15.5	30	3.3
QPA1008	2.7-3.8	31	28	6
QPA1022D	8.5-11	36.5	24	22
CMD299K4	18-40	9	16	3

Qorvo® offers customers the most advanced combination of power and performance with its industry leading GaN power amplifiers and its new portfolio of high-performance GaAs MMICs that cover the entire RF signal chain. Qorvo's RF solutions set the standard for reliability, efficiency and design flexibility, and is a trusted and preferred supplier to the DoD and leading defense contractors around the globe. As the industry's only MRL 10 GaN supplier, customers can depend on Qorvo solutions to support mission critical applications that operate in the harshest environments on land, sea, air and space. At Qorvo we deliver RF and mmWave products to Connect, Protect and Power™ RF systems All Around You®.

To learn more, visit [qorvo.com](http://qorvo.com) or connect with our distribution partner RFMW at [rfmw.com/qorvo](http://rfmw.com/qorvo).



# IoT und LPWAN erhöhen die Cybersecurity in Infrastrukturen

Mögliche Cyberangriffe auf die Infrastruktur wie Strom- und Wasserversorgung waren schon vor der russischen Drohung an den Westen ein immer größeres Risiko.



Denn in die Infrastruktur wurde in der Regel jahrelang zu wenig investiert, sodass sie nur schlecht geschützt sein dürfte. Es gibt Millionen von unbewachten und anfälligen Angriffspunkten.

### LPWAN als Sicherheitstechnologie



*Autor:  
Alistair Fulton  
Vizepräsident und General  
Manager der Wireless and  
Sensing Products Group von  
Semtech  
(redaktionell leicht bearbeitet)*

*Semtech  
www.semtech.com*

Die Technologie Low-Power-Wide-Area Network lässt sich als Schlüsselfaktor für die Infrastruktursicherheit nutzen. Die LPWAN-Technologie gilt 2022 als wichtiges Instrument zur Abwehr möglicher Cyberangriffe, denn sie ist ein treibender Faktor bei der Digitalisierung der Infrastruktur und lässt sich darüber hinaus gut mit dem IoT kombinieren.

Es mag seltsam erscheinen, dass LPWAN-Technologie wie die LoRa-Bausteine von Semtech und der LoRaWAN-Standard ein zentraler Baustein für Sicherheit bei der Digitalisierung sein kön-

nen, die beiden sind aber immer enger miteinander verbunden. LoRa arbeitet mit LoRaWAN und ist ein sicherer, energiesparender Ansatz für die Bereitstellung von Infrastrukturen. Diese Technologie mit großer Reichweite trägt entscheidend dazu bei, dass sich batteriebetriebene Sensoren und Aktoren genau dort platzieren lassen, wo man sie benötigt. Die elektrische Infrastruktur mag Zugang zu Strom haben, doch bei anderen kritischen Infrastrukturen wie der Wasser- oder Gasversorgung kann der Zugang zu verlässlicher Stromversorgung problematisch sein. Eine große Reichweite ist notwendig, um die Kosten für den Aufbau eines Daten-Netzwerk-Layers für kritische Infrastrukturen zu minimieren.

### Ohne Daten läuft nichts

Die Erhebung von Daten ist entscheidend für das Verständnis des Systemverhaltens und

die Ermittlung von Systembereichen, die sich auffällig verhalten und womöglich angegriffen werden. Nur so kann man Problemsituationen besser verstehen und schneller Maßnahmen ergreifen, z.B. welche Knoten man auf eine schwarze oder weiße Liste setzen, abschalten oder isolieren sollte. Auch um maschinelles Lernen (ML) für die Sicherheitsanalyse zu nutzen, benötigt man Daten, viele Daten. ML-Algorithmen identifizieren durch Mustervergleich Anomalien im Netz, sei es in den Geräten oder im restlichen Netz.

Ein Sensornetzwerk mit niedrigem Energieverbrauch zur Erfassung dieser Daten ermöglicht eine jahrelange Batterielebensdauer und vermeidet kostspielige Batterieaustauschzyklen, benötigt aber drahtlose Protokolle zur sicheren Übertragung von Daten über ein Netzwerk. Denn es ist nicht sinnvoll, ein Sensornetz in eine

Infrastruktur einzubauen, die selbst eine Angriffsfläche bietet. LoRaWAN nutzt für den Schutz der Daten eine AES256 Ende-zu-Ende-Verschlüsselung, unabhängig davon, ob der Datenaustausch über ein Gateway oder sogar ein Satellitennetz erfolgt.

### Das Satellitennetz

Inzwischen gibt es fünf Netze mit Satelliten in einer niedrigen Erdumlaufbahn, die LoRaWAN-Signale direkt von Sensorknoten am Boden empfangen und die Daten, die immer noch geschützt sind, an eine zentrale Datenbank weiterleiten können.

Dank der Nutzung eines Satellitennetzes für das Sensornetz kann man die Infrastruktur in abgelegenen Gebieten, ob Öl- und Gaspipelines, Wasser- oder Stromnetze, so genau wie nötig überwachen. Dies bietet aber noch weitere Vorteile. Dieselben Protokolle, mit denen ein

Satellit in 200 km Höhe Daten von Sensoren abrufen kann, erhöhen auch die Zuverlässigkeit von in schwer zugänglichen Kellern und Wohngebäuden installierten Sensoren in intelligenten Zählern. Während die Überwachung der Infrastrukturaktivität die unmittelbare Anforderung ist, bringen die zusätzliche digitale Datenschicht und das maschinelle Lernen übrigens noch andere Vorteile.

### Der vom Sensornetz getrennte Daten-Layer

Meist verwaltet SCADA-Software und -Hardware (Supervisory Control and Data Acquisition) die Steuerung kritischer Infrastrukturen und interagiert direkt mit Sensoren, Ventilen, Pumpen, Motoren usw. Solche Systeme sind ein gängiges Ziel von Sicherheitsangriffen. Ein separates Netzwerk zur Überwachung des SCADA-Systems

kann verhindern, dass ein Eindringling merkt, dass er ertappt wurde. So lassen sich möglicherweise gefährdete Teile des Netzes ohne Abschaltung der gesamten Infrastruktur deaktivieren.

Mit dem Begriff Supervisory Control and Data Acquisition wird im Bereich der Industrial Control Systems das Computersystem bzw. die Software zur Überwachung und Steuerung technischer Prozesse beschrieben. SCADA-Netze zur Steuerung der Infrastruktur sind eher auf die Prozesssteuerung in Echtzeit als auf die Echtzeitanalyse der Daten ausgerichtet.

### Fazit

Ein LPWAN-Netzwerk ist eine kostengünstige, schnelle und relativ einfache Möglichkeit, die Infrastruktur mit einem Daten-Overlay zu versehen. Offene Standards wie das von der LoRa

Alliance unterstützte LoRaWAN ermöglichen ein weltweites Ökosystem aus kostengünstigen Sensoren, Aktoren, Gateways und Netzbetreibern zur Bereitstellung der Daten.

Es liegt an den Infrastrukturbetreibern und Systempartnern, die Daten in ihre Systeme für die Überwachung und Analyse durch maschinelles Lernen einzuspeisen und damit die Kontrolle über die Daten als wichtige Ressourcen zu behalten.

Die neue politische Lage in Europa verpflichtet Infrastrukturbetreiber, verstärkt über die Sicherheit ihrer Systeme nachzudenken. Die Erweiterung der bestehenden Infrastruktur um ein Daten-Overlay in Verbindung mit maschinellen Lernalgorithmen und Big-Data-Analysen stärkt die Zuverlässigkeit und Sicherheit von Energie- und Wassernetzen. ◀



## NEW 3 GHz & Beyond Products!

- Enables DOCSIS 4.0 & full duplex requirements
- Achieve max RF output power w/ MiniRF passives
- Repeatability & reliability - a MiniRF trademark
- 100% RF test, local design & support

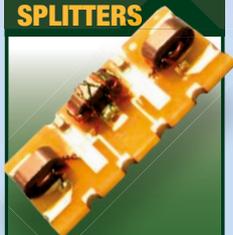
### Standard & Custom Components

#### COUPLERS

MRFCP6762

1.8 GHz BW  
3 & 4 port models  
with optional  
coupling factors for  
Broadband / CATV  
Systems.

#### SPLITTERS



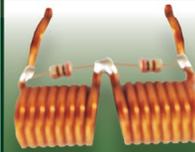
2.5 GHz BW, 2/3&4  
way power splitters  
designed for both  
50 & 75  $\Omega$   
applications.

#### TRANSFORMERS



50  $\Omega$  & 75  $\Omega$   
supporting a wide  
range of applications  
with impedance  
ratios of 1:1, 1:2,  
1:4, 1:8, 1:16.

#### RF CHOKES



Precision inductors  
& chokes with wire  
diameters from  
0.060~5mm single  
& multilayer, air-core,  
coil configurations.

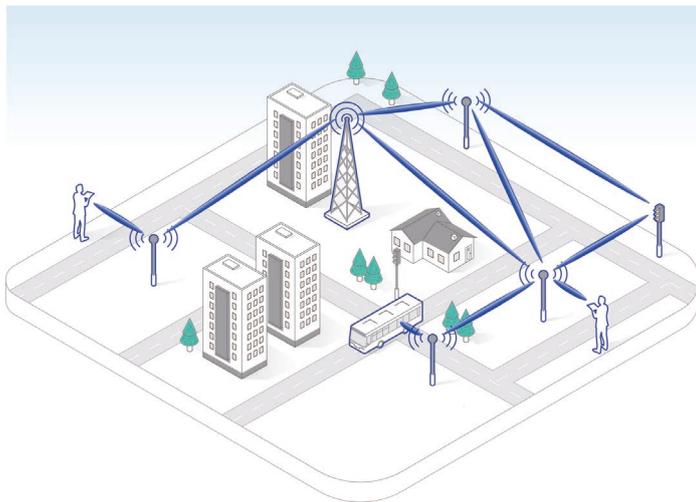


For information, samples and sales, contact our distribution partner RFMW.  
[www.RFMW.com](http://www.RFMW.com) | [sales@rfmw.com](mailto:sales@rfmw.com)

## Optimistisch in die Zukunft blicken

# Die Technologien für 6G

Das Kommunikationssystem der nächsten Generation 6G geht 2022 an den Start. Welche Erwartungen kann es erfüllen und welche nicht? Dieser Frage kommt man näher, indem man versucht, die Technologiekandidaten auszumachen, die für die Erfüllung der Anforderungen für 6G unerlässlich sein werden.



Es gibt verschiedene Herausforderungen bei der Entwicklung zukünftiger drahtloser Systeme. Bestimmte noch zu entwickelnde Technologien stellen können dabei Schlüsselfaktoren für die Realisierung von 6G sein. Doch so vielversprechend und reizvoll diese Technologien auch erscheinen mögen, so sicher scheint es auch, dass in Zukunft weitere Technologien zu berücksichtigen sind und dass heutige Ansichten über die Bedeutung und Nützlichkeit verschiedener Technologien im Laufe der Forschung

und Entwicklung revidiert oder angepasst werden müssen.

### Die aktuellen Technologie-Kandidaten

Zu diesen aktuell als notwendig erscheinenden Technologien zählen insbesondere folgende:

- Nutzung des Terahertz-Bereichs
- neuartige Antennentechnologien
- eine weiterentwickelte Duplex-technologie
- eine neuentwickelte Netztopologie
- Spektrum-Sharing
- umfassende KI
- Split-Computing und
- ein hochpräzises Netzwerk

### Terahertz-Bänder: Vorstoß bis 3000 GHz

Es ist inspirierend, dass die Federal Communications Commission (FCC) im März 2019 das Spektrum zwischen 95 und 3000 GHz für die experimentelle Nutzung und nichtlizenzierte Anwendungen geöffnet hat, um

die Entwicklung neuer drahtloser Kommunikationstechnologien zu fördern. Außerdem gibt es Diskussionen zu Anwendungsfällen und Einsatzszenarien für 5G-Funksysteme mit Frequenzbändern jenseits von 52,6 GHz.

Diesem Trend folgend, es ist unvermeidlich, dass der Mobilfunk-Bänder im Terahertz-Bereich, speziell im Abschnitt 0,1...10 THz, in zukünftigen drahtlosen Systemen Berücksichtigung finden. Denn hiermit erhält man eine enorme verfügbare Bandbreite, was extrem breitbandige Kanäle (mehreren 10 GHz breit) ermöglicht. Das ist der Weg, um die 6G-Anforderung der Tbit/s-Datenrate zu erfüllen.

In Anbetracht des Fortschritts verwandter Technologien erwartet man bei Samsung, dass 6G-Systeme teilweise für die Nutzung bis zu 3000 GHz ausgelegt sein werden, wie im Aufmacherbild gezeigt. Während die Verfügbarkeit von Breitband-Spektrum der Hauptgrund für THz-Kommunikation ist, können auch andere Vorteile realisiert werden. Beispielsweise kann die Kommunikation im THz-

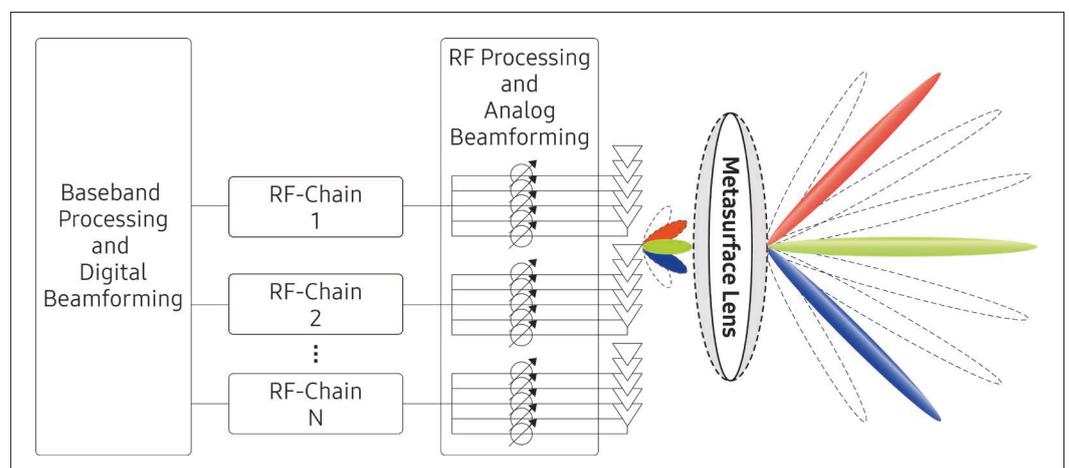
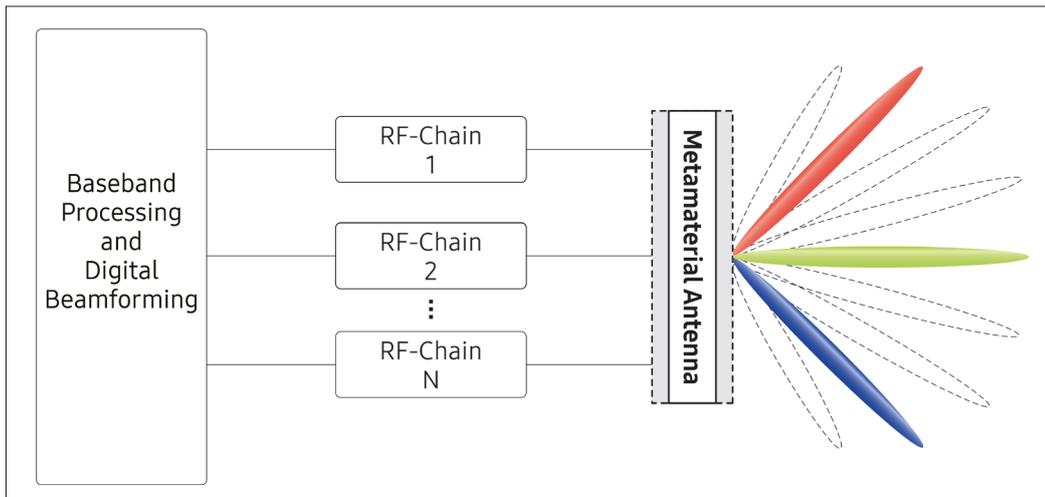


Bild 1: Metasurface Lens

Quelle:  
6G The Next Hyper-Connected Experience for All. Samsung Research 2021  
freie Teilübersetzung von FS



**Bild 2: Metamaterial-Antenne**

Band potenziell eine hochpräzise Positionierung ermöglichen aus folgenden Gründen:

- 1) extrem breitbandige Wellenformen (vgl. 4G 6 GHz, 5G 110 GHz, 6G 3000 GHz)
- 2) Verbindungen zwischen Sender und Empfänger ist höchstwahrscheinlich eine Sichtverbindung (LoS), daher keine Umwege oder Reflexionen.
- 3) mögliche Verwendung von spitz gebündelten Strahlen, die sowohl in Azimut als auch in Elevation gelenkt werden, damit stark verbesserte Winkelauflösung und Triangulationsgenauigkeit der 3D-Positionsschätzung

Um jedoch in der Praxis eine stabile THz-Kommunikation zu realisieren, ist ein Satz grundlegender technischer Herausforderungen zu meistern. Im Folgenden beleuchten wir einige dieser Herausforderungen, meist aus Sicht der physikalischen Schicht.

**THz-Herausforderungen:**

- starker Pfadverlust und atmosphärische Absorption

Der Freiraumpfadverlust ist proportional zum Quadrat der Signalfrequenz. Zum Beispiel hat ein Link bei 280 GHz 20 dB zusätzliche Pfaddämpfung im Vergleich zu 28 GHz. Trotzdem kann der starke Wegverlust im THz-Band überwunden werden, z.B. durch die Verwendung sehr großer Antennenarrays an Basis-

stationen (ultramassive MIMO). Auf diese Weise und möglicherweise mithilfe anderer Konzepte werden im Rahmen der physikalischen Möglichkeiten effiziente THz-Kommunikationssysteme für den Innen- und Außenbereich entwickelt werden.

- HF-Frontend, Photonik und Datenkonvertierung

Das THz-Band wird oft als THz-Lücke bezeichnet, hauptsächlich aufgrund des Fehlens effizienter Geräte, die Signale in diesen Frequenzbereichen erzeugen und erkennen können. In diesen Bändern sind die Geräteabmessungen relativ groß im Verhältnis zur Wellenlänge, und dies führt zu einem hohen Leistungsverlust bzw. zu geringer

Effizienz. Positiv ist, dass die Forscher während des letzten Jahrzehnts große Anstrengungen unternommen haben, um THz-Technologien im Chip-Maßstab zu entwickeln. Daraus resultieren heute Halbleitertechnologien auf Basis von InP, GaAs, SiGe und sogar CMOS. Diese sind in der Lage, im unteren THz-Band Energie im Milliwattbereich mit akzeptabler Effizienz zu erzeugen. Allerdings ist eine Weiterentwicklung der Festkörperelektronik erforderlich für den Betrieb im hohen THz-Band.

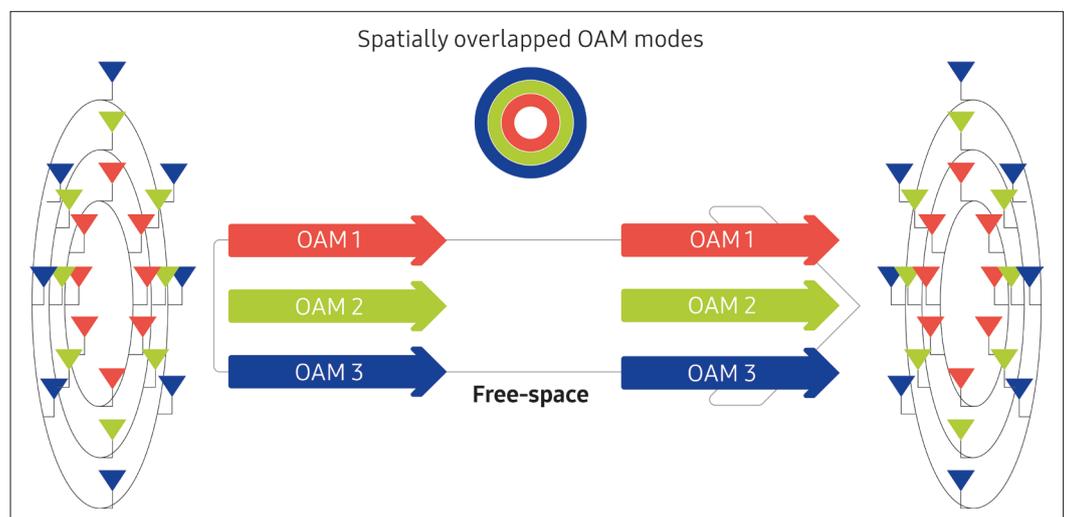
**Weitere Herausforderungen:**

- Transport des Signals innerhalb des integrierten Systems und zur Antenne mit geringem Verlust

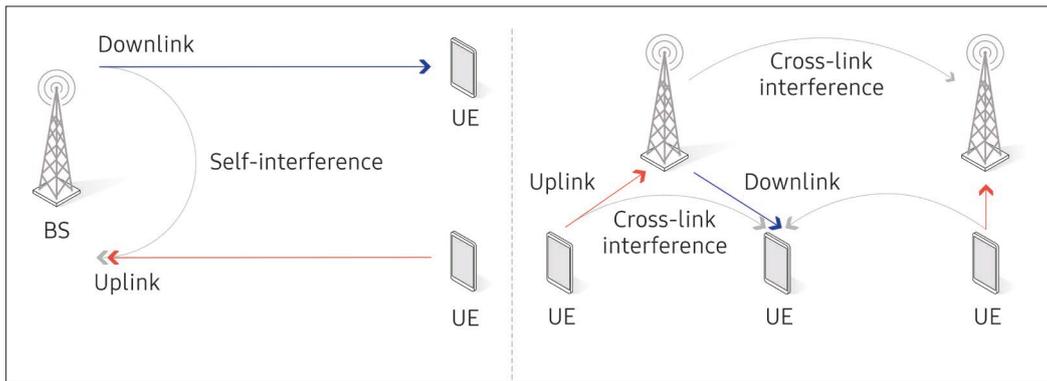
- Häusung des integrierten Systems ohne nennenswerte Verluste und Aufrechterhaltung guter Wärmeableitung
- Verringern des Mischer-Phasenrauschens
- stromsparende Multi-GS/s-ADCs und DACs sowie
- stromsparende Devices mit digitalem Eingang/Ausgang (IO) zu DACs und ADCs zum Übertragen von Daten mit Tbit/s-Datenrate

**Neuartige Antennentechnologien: Linsen- und Beamforming-Architektur**

Der Übergang in den THz-Bereich bedeutet einen drastischen Anstieg der Pfaddämpfung. Folglich sind beispiellose massive Antennenarrays notwendig, um die Wegdämpfung zu kompensieren. Das Entwerfen solcher Arrays, die mit hoher Effizienz bei THz-Frequenzen arbeiten, ist mit vielen Herausforderungen an das allgemeine Design, das Speisetz und die Antennenelemente verbunden. Das Ziel sind ultramassive Arrays mit sehr fokussierten Strahlen, ähnlich wie Laserstrahlen. Dadurch hängt die Kommunikationsverbindungen bei diesen Frequenzen von der LoS und dem Vorhandensein fokussiert-reflektierter Pfade ab, nicht jedoch von Streu- und Beugungspfaden. Es ist von großer Bedeutung, die Beamforming-



**Bild 3: OAM Multiplexing mit verschiedenen OAM Modes**



**Bild 4: Skizze zur Verdeutlichung der Haupthindernisse**

Architektur zu optimieren, um einen hohen Dynamikumfang und eine hohe Flexibilität zu vernünftigen Kosten und bei akzeptablem Energieverbrauch zu erhalten.

Um mit den schwierigen Ausbreitungseigenschaften des THz-Bandes fertigzuwerden, kann man die massive MIMO-Technologie, die eingeführt wurde, um das Millimeterwellenband (mmWave) in 5G zu unterstützen, weiter verbessern. Da das THz-Band viel mehr Antennen erfordert als das mmWave-Band, kann es zu erheblich mehr praktischen Schwierigkeiten kommen. Welche Antennentechnologien kommen als mögliche Alternativen infrage? Das Stichwort hierzu könnte „Metamaterial“ sein:

Ein Metamaterial entsteht normalerweise, indem man mehrere abstimmbare Elemente (PIN-Dioden, Varactor-Dioden usw.) in sich wiederholenden Mustern in verschiedenen Maßstäben anordnet, die kleiner sind als die Wellenlänge. Form, Geometrie, Größe, Ausrichtung und Anordnung der Elemente ermöglichen intelligente Eigenschaften, die elektromagnetische Wellen manipulieren können, z.B. blockieren, absorbieren, bündeln oder biegen, um Vorteile zu erzielen, die über das hinausgehen, was mit herkömmlichen Materialien möglich ist. Dazu kann jedes Element, das ein Metamaterial bildet, unabhängig gesteuert werden, um die gewünschten Eigenschaften zur Beeinflussung der elek-

tromagnetischen Wellen, wie etwa die Ausbreitungsrichtung, zu erreichen.

Es gibt drei herausragende Ansätze zur Nutzung von Metamaterial:

- Metasurface-Linse

Eine Metasurface-Linse als phasenschiebende Struktur steuert das von einem Antennenarray abgestrahlte Signal. Es lässt sich z.B. die Strahlrichtung anpassen, indem man eine DC-Vorspannung an die das Metamaterial bildenden Elemente legt (Bild 1).

- Metamaterialantenne

Die Metamaterialantenne funktioniert als Resonanzantenne, um selbst gerichtete Strahlen abzustrahlen, wie in Bild 2 gezeigt. Im Gegensatz zur Metasurface-Linse erfordert die Metamateri-

alantenne kein separates Antennenarray mit Phasenschieber.

- rekonfigurierbare intelligente Oberfläche (RIS)

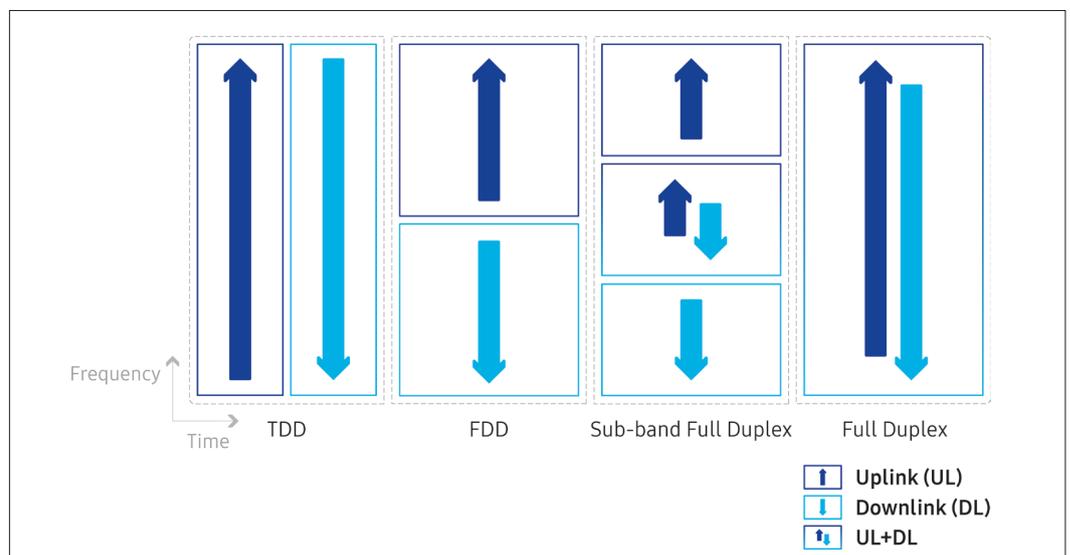
Eine RIS kann verwendet werden, um einen Ausbreitungspfad, bei dem kein LoS-Link existiert, zu nutzen.

Eine weitere mögliche Spielart könnte das Multiplexen sein, wobei verschiedene OAM-Modi verwendet werden (Bild 3). Zum Hintergrund: Wenn sich Licht ausbreitet, haben elektrisches und magnetisches Feld, aus denen das Licht besteht, ihre eigenen oszillierenden Achsen, die senkrecht zueinander stehen. Es gibt zwei Arten von Drehungen, die sich auf diese Achsen beziehen und diese Drehungen können als zwei Arten von Impulsen beobachtet werden, nämlich als Spindreh-

impuls (SAM) und Bahndrehimpuls (OAM, Orbit). Beim OAM könnte theoretisch mehrere orthogonale Moden auftreten, je nachdem, wie schnell sich das Licht gewissermaßen um seine Ausbreitungsrichtung drehen kann. Bei den elektromagnetischen Wellen ist es durch Experimente bewiesen, dass verschiedene OAM-Modi gleichzeitig generiert werden können mithilfe eines Sendeanennenarrays. Diese Eigenschaft kann verwendet werden, um mehrere Signale (oder Schichten) zu multiplexen, indem verschiedene OAM-Modi verwendet werden, um die Datenrate zu erhöhen. Eine Studie hat gezeigt, dass OAM ein Sonderfall des traditionellen Spatial Multiplexing in Bezug auf Kapazität und Gesamtantennenbelegung ist.

### Evolution der Duplextechnologie: Überlappung und Dynamik

In herkömmlichen Kommunikationssystemen erfolgen Downlink- und Uplink-Übertragungen in sich gegenseitig ausschließender Weise entweder im Zeitbereich (TDD) oder im Frequenzbereich (FDD). Normalerweise sind Downlink und Uplink mit festen Zuweisungen von Zeit-Frequenz-Ressourcen in praktischen Systemen verbunden. In 5G NR wurde dynamische TDD eingeführt, um die



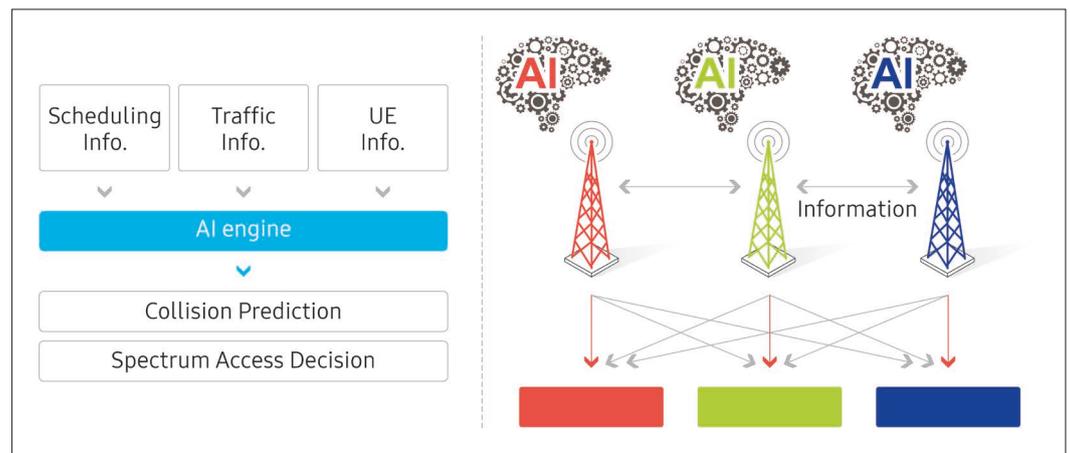
**Bild 5: Dynamische Arbeitsweise von Duplex Modes**

Duplexflexibilität zu verbessern; dadurch kann das Verhältnis zwischen Downlink und Uplink im Zeitfenster je nach Verkehrsnachfrage angepasst werden. Für 6G wird nun aktiv geforscht, wie man die Einschränkung, dass Downlink und Uplink sich gegenseitig ausschließende Zeit-Frequenz-Ressourcen verwenden müssen, eliminieren kann.

So kann das Zulassen einer Überlappung zwischen Downlink und Uplink über die gesamte Zeit-Frequenz-Ressource (auch bekannt als Vollduplex) theoretisch die Systemkapazität um Faktor 2 erhöhen. Die Haupthindernisse beim Abweichen vom Status quo liegen bei Eigeninterferenz und Querverbindungsinterferenz. So ist bei einem Basisstationsempfänger eine Selbststörung möglich. Die Basisstation überträgt ein Downlink-Signal unter Verwendung derselben Zeit-Frequenz-Ressource wie sie für das Uplink-Signal von User Equipment (UE) verwendet wird.

Eine weitere Möglichkeit ist der dynamische Betrieb von Duplex-Modi. Hintergrund: Befinden sich Sende- und Empfangsantennen in unmittelbarer Nähe, ist die Eigeninterferenz viel stärker als die gewünschten Signale von den Users. Daher scheint die Weiterentwicklung der Duplex-technologie durch Abkehr vom Status quo entscheidend zu sein, um Eigenstörungen beseitigen zu können. Daher die Forschungen zu Techniken zur Selbstinterferenz-Unterdrückung (SIC). Hier ist typischerweise sowohl eine analoge als auch eine digitale Domänenaufhebung erforderlich.

Eine Querverbindungsinterferenz oder Cross-Link Interference (CLI) ist die Interferenz zwischen UEs oder zwischen Basisstationen. Die UE-zu-UE-CLI kann abgeschwächt werden, wenn eine Basisstation einen Satz von UE wählt, die keine schwerwiegenden Störungen untereinander verursachen. Die CLI zwischen Basisstationen tritt auf, wenn die Abwärtsstrecke der Angreiferstation dieselbe Zeit-



**Bild 6: Intelligentes Spectrum-Sharing**

Frequenz-Ressource wie die Aufwärtsstrecke der Opferstation verwendet. Die BS-zu-BS-CLI kann durch enge Koordination zwischen den Basisstationen abgeschwächt werden.

Bild 4 skizziert sowohl Self- als auch Cross-Link-Interferenz.

Bei Abweichung vom gegenwärtigen Prinzip wäre es möglich, das Duplexschema in einer dynamischen Weise, wie in Bild 5 gezeigt, zu verwirklichen. Dies würde die spektrale Effizienz sowie die Flexibilität des Systembetriebs verbessern.

### Evolution der Netzwerktopologie: Optimierung durch offene Maschen

Um flexible Netzwerkbereitstellungen zu ermöglichen, hat die Mobilfunkindustrie die Unterstützung für Netzwerkeinheiten eingeführt, um sich über drahtlose Verbindungen mit Basisstationen zu verbinden, wie z.B. als Relay bei 4G und Integrated Access and Backhaul (IAB) bei 5G. Zusätzlich zur Mobilitätsunterstützung einzelner Endgeräte im Mobilfunknetz gibt es das Konzept der Gruppenmobilität (auch bekannt als Mobile Relay oder Mobile BS) zur effizienten Unterstützung einer Gerätegruppe in einem Bus, einem Zug oder einem Flugzeug.

Auf dem Weg zu 6G erwartet man bei Samsung, dass die Technologien im Zusammenhang mit den im vorstehenden

Beitrag skizzierten Trends weiter voranschreiten, um Folgendes zu erreichen:

- automatisiertes Hinzufügen, Konfigurieren und Optimieren eines neuen Netzwerks
- Gelingt es, den Aufwand für die Netzplanung deutlich zu reduzieren und damit die Mesh-Netzwerktopologie, wie im Aufmacherbild dargestellt, zu verbessern, kann dies eine wichtige Technologie für die flexible und adaptive Netzwerkbereitstellung sein.
- verbesserte Mobilitätsunterstützung für Mobilfunknetz-Einheiten unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit von Datentransportsystemen, die ein Teil des Mobilfunknetzes sein können
- verbesserte Dienstkontinuität für Benutzergeräte, die vom Netzwerk bedient werden

Ein weiterer Trend, der bei der Entwicklung der Netzwerktopologie weiter voranschreitet, ist die Verwendung nichtterrestrischer Netzwerkkomponenten (NTN) innerhalb eines terrestrischen Netzes, wie in der Aufmachergrafik dargestellt. Die Realisierung der NTN-Technologie erfordert die Berücksichtigung neuer Aspekte, die in terrestrischen Netzen nicht vorhanden sind, einschließlich der Unterstützung von beweglichen Zellen, großen Zellengrößen von bis zu hunderten von Kilometern, lange Ausbreitungsverzögerungen, große Dopplerverschiebung aufgrund der hohen

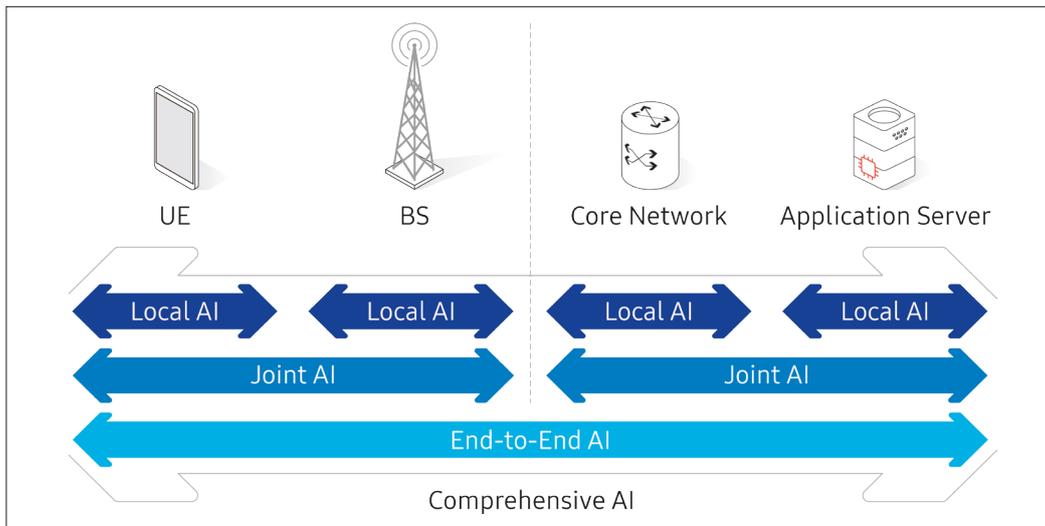
Geschwindigkeit von NTN-Komponenten und großer Pfadverlust. Die Industrie befindet sich hier in der Anfangsphase.

### Spectrum-Sharing-Technologie: Teile und nutze!

Spectrum Sharing ermöglicht die Nutzung eines bestimmten Spektrums durch mehrere Bedarfsträger. Hintergrund: Exklusive Lizenznehmer nutzen das lizenzierte Spektrum oft nicht aus, weil sie nicht die ganze Zeit aktiv sein müssen. Spectrum-Sharing-Technologie ermöglicht die harmonisierte effiziente Nutzung des vorher nicht vollständig genutzten Spektrums. Sich dieses Spektrum zu teilen, bedeutet offensichtlich eine Win-Win-Situation. Kostbare Spektrumsressourcen, insbesondere in Frequenzbereichen unter 6 GHz, sind einerseits von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der lückenlosen Abdeckung des Mobilfunks, andererseits aber rar.

Bei Samsung stellt man fest, dass Regulierungsbehörden beginnen, vom traditionellen Ansatz der exklusiven Frequenzlizenzierung abzuweichen, um eine bessere Nutzung des begrenzten Spektrums zu erreichen. Angesichts dessen ist es sinnvoll, der Technologie zur gemeinsamen Nutzung von Frequenzen die gebührende Aufmerksamkeit zu schenken.

In den USA wurde das Citizens Broadband Radio Service Band (CBRS) 3,55...3,7 GHz von



**Bild 7: Umfassendes KI-Systemmodell**

der FCC für den gemeinsamen Zugriff geöffnet. Die Weitergabe erfolgt gemäß eines einzigartigen dreistufigen Zugangsmodells: 1. etablierte Unternehmen, z.B. Bundesregierung und Benutzer von festen Satellitendiensten, 2. Priority Access Licensees und 3. General-Authorised-Access-Benutzer.

Das Wireless Innovation Forum (WinnForum) hat die Funktionalität und Architektur für Spectrum Access Systems (SAS) definiert. Das SAS Framework bietet Zugriff auf eine Datenbank und die Möglichkeit, die Verfügbarkeit von CBRS-Kanälen an einem bestimmten Standort zu ermitteln. Das WinnForum definiert auch die Schnittstelle zwischen SAS- und CBRS-Geräten sowie den Rahmen für Prüfung und Zertifizierung.

Der Verkehr und die Frequenznachfrage konzentrieren sich hauptsächlich auf städtische Gebiete. Darüber hinaus folgt die Verkehrsnachfrage natürlich dem Aktivitätszyklus der Menschen. Daher bleibt die Möglichkeit zur gemeinsamen Nutzung von Frequenzen begrenzt. Andererseits können die Netze verschiedener Betreiber kurzfristig recht ungleichmäßige Verkehrsmuster aufweisen. Um die Chancen zur gemeinsamen Nutzung von Frequenzen als Reaktion auf dieses Phänomen zu erhöhen, kann man in Erwägung ziehen, mehr auf Dynamik zu setzen als auf eine

halbstatische Methode, basierend auf einer Datenbank. Dies führt zum Thema „Künstliche Intelligenz“ (Bild 6):

### Intelligente Frequenzteilung mit KI

Die Hauptherausforderung der dynamischen Spektrumsteilung besteht darin, eine Kollision der Frequenznutzung zwischen verschiedenen Einheiten zu vermeiden. Theoretisch gelingt das durch Auswertung aller relevanten Informationen zum Spektrumszugang. In der Praxis ist dies jedoch nicht möglich, da alle erforderlichen Informationen für jede Benutzergruppe in Echtzeit erfasst werden müsste, was einen enormen Kommunikationsaufwand bedeutet.

KI könnte Kollisionen vermeiden, indem sie die Frequenznutzung anderer potentieller Nutzer mit einer begrenzten, vorhersagbaren Menge der ausgetauschten Informationen dargestellt. KI erhält viel Aufmerksamkeit als Werkzeug zur Lösung von Problemen, die bisher aufgrund ihrer enormen Komplexität oder des Mangels an notwendigen Modellen und Algorithmen als unlösbar galten. Wie könnte ein umfassendes KI-System zur Optimierung der Gesamtsystemleistung und des Netzwerkbetriebs aussehen?

Im Allgemeinen besteht eine Gesamtnetzwerkarchitektur aus

vier Ebenen von Einheiten: UE, Basisstation (BS), Kernnetzwerk und Anwendungsserver. Die Anwendung von KI lässt sich hier auf drei Ebenen verteilen (Bild 7):

- 1) lokale KI
- 2) gemeinsame KI
- 3) E2E-KI

Lokale KI wird in jedem Funktionsblock implementiert. Ein Beispiel ist der Einsatz von KI zur Optimierung von Modulation, Quellcodierung und Kanalcodierung. Gemeinsame KI kann den gemeinsamen Betrieb von UEs und BSs oder den gemeinsamen Betrieb von Kernnetzwerken und Anwendungs-Server optimieren. Ein beispielhafter Fall für die gemeinsame Optimierung ist die Handover-Optimierung, basierend auf der Vorhersage zukünftiger Netzwerkbedingungen in einer komplexen drahtlosen Umgebung. E2E-KI optimiert das gesamte Kommunikationssystem. Damit wird es möglich, Anomalien im Netzbetrieb zu erkennen oder vorherzusagen und Korrekturvorschläge zu unterbreiten.

Um Vorteile aus der Anwendung von KI auf verschiedene Komponenten von Mobilfunksystemen zu ziehen, gibt es fortlaufende Bemühungen, Unterstützung für KI in Standards einzuführen. Das Partnerschaftsprojekt der dritten Generation (3GPP) hat

z.B. eine Netzwerkdatenanalyse-Funktion zur Datensammlung und -analyse in automatisierten Mobilfunknetzen standardisiert. Neben 3GPP wurde 2018 die O-RAN Alliance gegründet, mit der Absicht, ein offenes und effizientes RAN mit KI-Technologien einzuführen.

Bei Samsung ist man sich einig, dass jetzt der richtige Zeitpunkt ist, um auf den Einsatz von KI in der drahtlosen Kommunikation hinzuarbeiten. Diese Bemühungen sollen zur nativen Unterstützung von umfassendes KI-Systemen führen, um effizienter, zuverlässiger und kostengünstiger Kommunikationssysteme zu realisieren.

### Split-Computing: fit für VR und AR

„Immersion“ bedeutet u.a. „eintauchen“. Seit einigen Jahren bezeichnet man mit immersiven Medien vor allem die Techniken Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR). Entsprechende zukünftige drahtlose Anwendungen wie wirklich immersive VR/AR, mobile Hologramme und Digital Replik erfordern umfangreiche Rechenfunktionen, um ein immersives Echtzeit-Benutzererlebnis zu bieten. Diese Herausforderung nur mit mobilen Geräten erfüllen zu wollen, ist fragwürdig, da viele der zukünftigen mobilen Geräte dazu neigen, dünner und leichter zu werden. AR-Brillen sollten beispielsweise so leicht, dünn und klein sein wie normale Brillen, um die Erwartungen des Benutzers zu erfüllen.

Um die Grenzen der Rechenleistung mobiler Geräte zu überwinden, betrachten wir das Konzept des Split-Computing, das sich über das Netzwerk erreichbarer Rechenressourcen bedient. Diese Rechenressourcen könnten auf verschiedenen Einheiten von Netzwerken verfügbar sein, z.B. mobile Geräte, BSs, MEC Server und Cloud-Server. Mit Split Computing können mobile Geräte effektiv eine höhere Leistung erzielen, selbst wenn sie ihre Akkulaufzeit verlängern müssen, da die

mobilen Geräte schwere Rechenaufgaben auf Rechenressourcen im Netzwerk verlagern.

Um das Split-Computing-Konzept zu realisieren, sollten folgende Faktoren in Betracht gezogen werden:

- Software-Plattform

Im Allgemeinen bedeutet konventionelles verteiltes Rechnen ein Client-Server-Modell, bei dem die Implementierung von jedem Client und Server spezifisch für einen bestimmten Entwickler ist. Um verschiedene Mobilgeräte mit unterschiedlicher Hardware und Software von verschiedenen Entwicklern aufnehmen zu können, wäre es von Vorteil, eine Split-Computing-Plattform als Open Source oder als Standard zu entwickeln. Die Anforderungen/Ziele:

- drahtlose Kommunikation mit geringem Stromverbrauch und geringer Latenz

Zur Unterstützung herausfordernder Dienste auf einem leichten Gerät, wie einer AR-Brille, benötigt das Gerät eine drahtlose Kommunikation mit geringer Latenz mit einem Gerät mit geringer Latenz und mit geringem Energieverbrauch.

- Datensynchronisation

Eine geteilte Computer-Plattform partitioniert die Berechnung einer Anwendung zwischen mobilen Geräten und Servern. Dies erfordert die Synchronisation einer großen Menge an Daten und von Kontext und des Programms selbst zwischen den Netzwerkeinheiten.

Bild 8 zeigt eine Reihe von Split-Computing-Beispielen. Ein mobiles Highend-Gerät muss in der Lage sein, die erforderlichen Berechnungen selbst vollständig durchzuführen. Geräte der Mittelklasse können möglicherweise nur einen Teil unterstützen und müssen den anderen Teil der Berechnungen auslagern.

**Das hochpräzise Netzwerk: Minimierung von Latenz und Jitter**

Um eine hohe QoE für interaktive Dienste mit hoher Daten-

rate zu gewährleisten und Anforderungen nach niedriger Latenz nachzukommen, es ist wichtig, deterministisches E2E beizubehalten zwecks geringer Latenz und Minimierung von Jitter im Mikrosekundenbereich. Ein deterministischer Algorithmus ist ein Algorithmus, bei dem nur definierte und reproduzierbare Zustände auftreten. Für die gleiche Eingabe folgt auch immer die gleiche Ausgabe und zusätzlich wird die gleiche Folge an Zuständen durchlaufen.

Ein High-Precision Network (HPN) ist eine Lösung, um dies zu erreichen, indem es mit einer massiven Konnektivität kombiniert wird, die sowohl von Funkverbindungsprotokollen als auch von Protokollen über Funk unterstützt wird.

Für das Time-Sensitive Networking (TSN) definiert das IEEE Mechanismen für die Übertra-

gung zeitkritischer Daten über Ethernet. Eine andere Lösung zur Implementierung von HPN ist das deterministische Netzwerk (DetNet) der IETF, das einen Mechanismus spezifiziert, der sich über das Internet Protocol (IP) und Transportschichten definiert. Diese bestehenden Technologien unterliegen Einschränkungen, da TSN nicht für Mobilfunknetze entwickelt wurde und das DetNet auf Basis von TSN arbeitet.

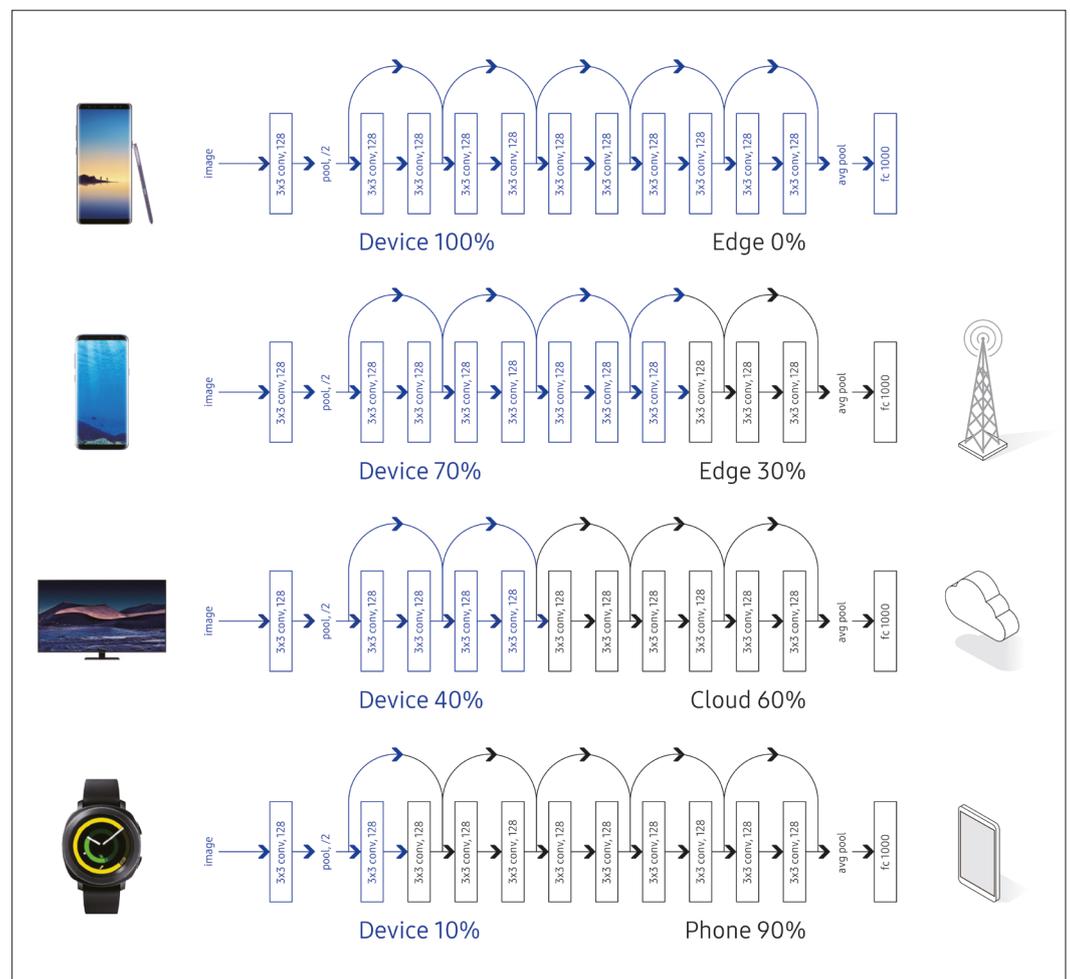
Die Integration mit dem Mobilfunknetz ist aufgrund grundlegender Diskrepanzen zwischen drahtlosen und drahtgebundenen Netzen eine ziemlich schwierige Aufgabe. Beispielsweise führt die Gerätemobilität im Mobilfunknetz viel häufiger zu Änderungen im Datenpfad als in kabelgebundenen Netzwerken.

Um ein HPN zu realisieren, sollten die folgenden Schlüs-

selmerkmale berücksichtigt werden:

- Multipathing
- Multihoming und
- dynamische Mobilität

Multipathing ermöglicht die Nutzung mehrerer alternativer Netzwerkpfade und bietet dadurch eine verbesserte Zuverlässigkeit und optimale Nutzung von Bandbreitenressourcen. Multihoming ist die Fähigkeit des Endgeräts, sich über mehrere Schnittstellen gleichzeitig zu verbinden und erfordert die Unterstützung von Multipathing. Informationszentrierte Netzwerke (ICN) könnten Kandidaten sein, um diese Funktionen bereitzustellen und die Mängel der Gegenwart zu mildern. Ein ICN ändert den Fokus der Internetarchitektur von host-zentriert zu daten-/inhaltszentriert. ◀



Beispiele für Split-Computing mit verschiedenen Geräten

# Mit Release 16 kommt 5G NR in neue vertikale Branchen

Das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 16 (Rel-16) bringt viele neue Funktionen, um 5G New Radio (NR) auf neue Branchen auszuweiten.

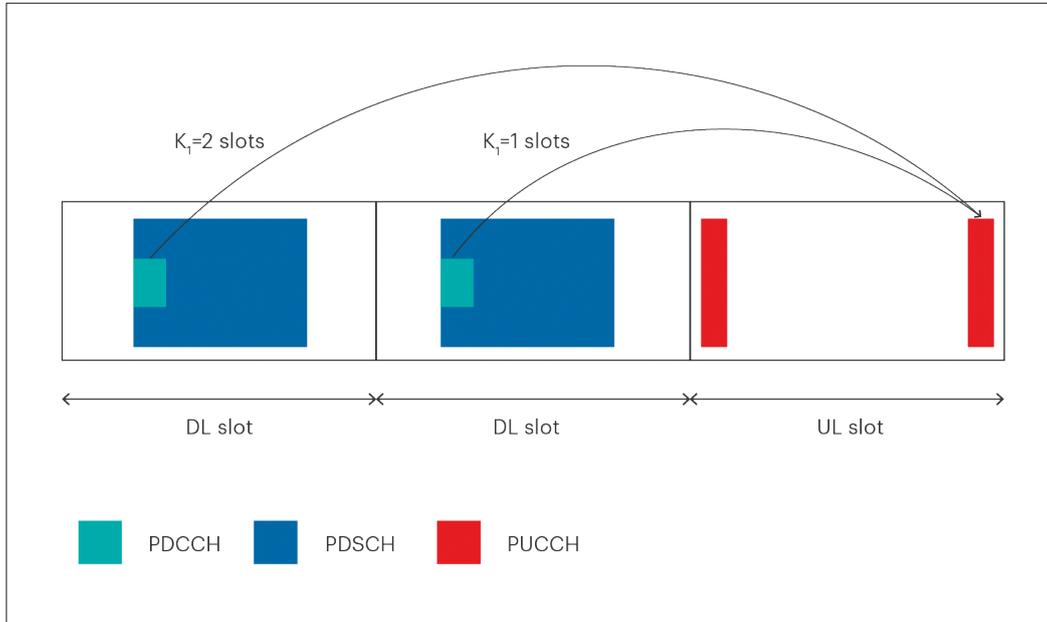


Bild 1: Rel-15 PUCCH HARQ, Feedback-Verhalten

## Im Überblick

In Rel-16 wurde der hybride Mechanismus der Bitübertragungsschicht zur automatischen Wiederholungsanforderung und -bestätigung (Hybrid Automatic Repeat Request-Acknowledgment, HARQ-ACK) verbessert. Dadurch wird die Latenzzeit verringert und der Datenverkehr mit hoher Priorität besser abgewickelt, insbesondere für den URLLC-Anwendungsfall (Ultra Reliable Low Latency Communication). Ein neues zweistufiges RACH-Verfahren (Random Access Channel) kann nun als Alternative zum traditionellen vierstufigen RACH-Verfahren verwendet werden, um die Netzzugangslatenz zu verringern. Die Positionsbestimmung von Anwendergeräten (UE) wird auf der Grundlage von GNSS und von der Funkzugangstechnologie (RAT) abhängigen Positionsbestimmungsverfahren eingeführt. Vehicle-to-everything (V2X) wird die direkte Kom-

Weltweit beschleunigt sich die Einführung der 5G-Technologie, wodurch ein breites Spektrum an Anwendungsfällen abgedeckt wird. Branchenführer arbeiten gemeinsam

mit dem 3GPP intensiv an der Verfeinerung und Verbesserung der 5G-Standards, damit die Anwender von weiteren 5G-Anwendungen und -Vorteilen profitieren können.



Autor:  
Xiang Li ist ein erfahrener Ingenieur für Wireless-Netzwerke und hat einen Master-Abschluss in Elektrotechnik. Derzeit arbeitet Xiang als Industry Solution Marketing Engineer bei Keysight Technologies [www.keysight.com](http://www.keysight.com)

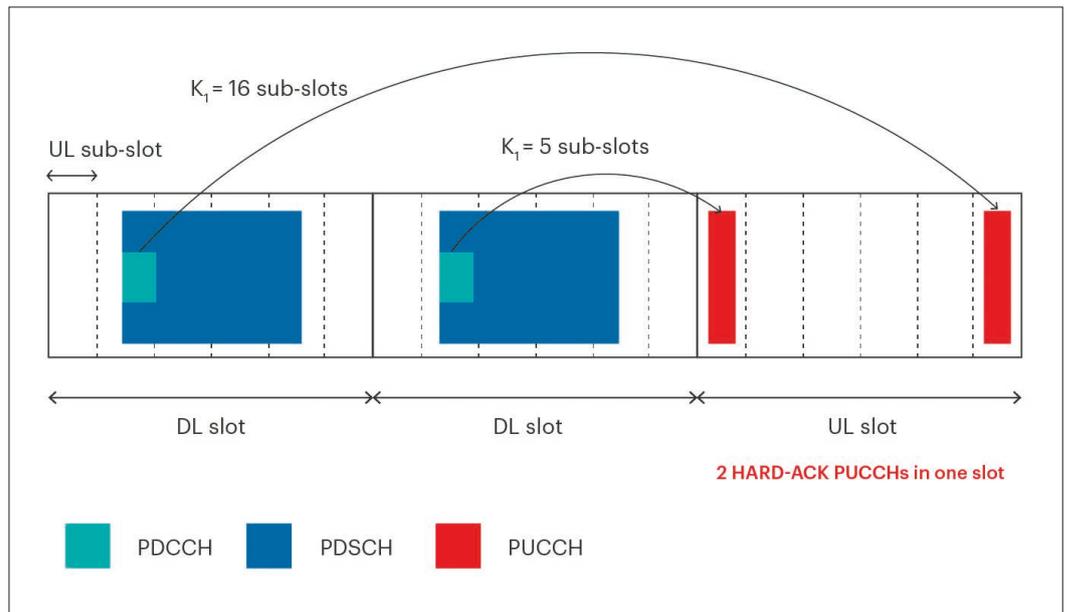
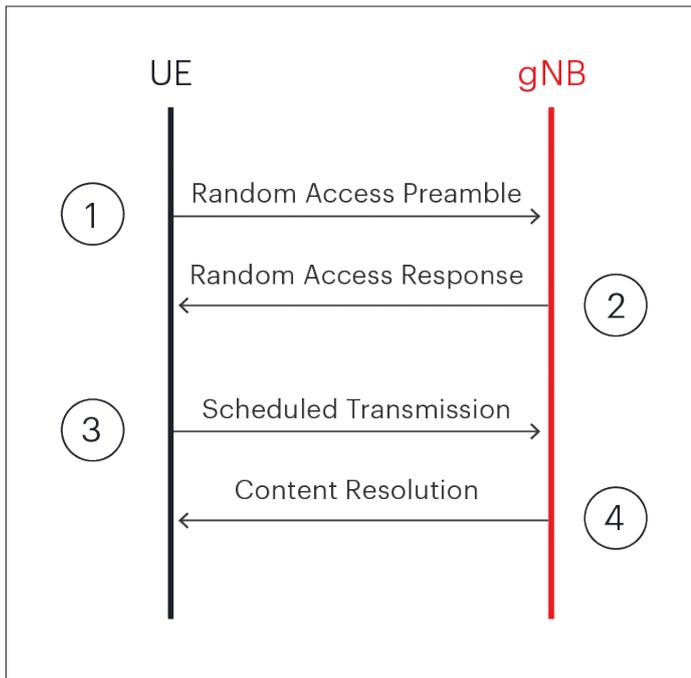


Bild 2: Rel-16-Verhalten mit PUCCH-Sub-Slots



**Bild 3: Vierstufiges RACH-Verfahren**

munikation zwischen UEs über Sidelink ermöglichen.

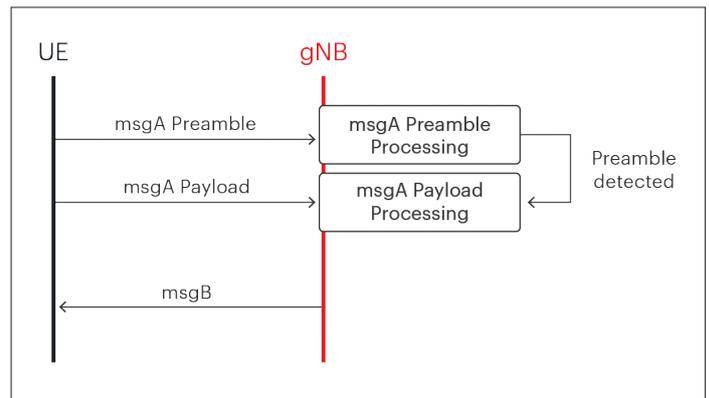
**Verbesserungen der Uplink Control Information (UCI)**

Eine der wichtigsten Zielsetzungen der 5G-Technologie ist es, die Latenzzeit so weit wie möglich zu verringern. Jedes 3GPP-Release versucht, Ineffizienzen im System zu finden oder neue Verfahren zur Reduzierung der Latenz zu implementieren. Rel-16 befasst sich mit dem UCI-Feedback, das zu Latenzengpässen führen kann.

UCI enthält viele entscheidende Komponenten, um eine erfolgreiche Kommunikation zwischen einem UE und einer 5G-Basisstation zu gewährleisten. Eine der Schlüsselkomponenten ist das HARQ-Acknowledgment- oder Negative-Acknowledgment-Feedback. Das Endgerät sendet jedes Mal eine Bestätigung an die Basisstation, wenn es einen DL-Übertragungsblock korrekt empfängt, oder eine negative Bestätigung, wenn es während des DL-Empfangs zu einem Fehler kommt. Daher wird eine effiziente UCI-Übertragung die gesamte Luftschnittstellenlatenz des 5G-Kommunikationsprozesses für zeitkritische

Anwendungsfälle wie URLLC und einige Aspekte von eMBB verbessern.

Um die UCI-Erweiterung in Rel-16 zu verstehen, rufen wir uns den UCI-Übertragungsmechanismus von Rel-15 in Erinnerung. In 5G NR überträgt das UE UCI über bis zu zwei PUCCHs pro Slot. In Rel-15 kann jedoch nur ein PUCCH dieser Instanzen für die HARQ-ACK-Rückmeldung verwendet werden. Wie in Bild 1 dargestellt, ist K1 der HARQ-Feedback-Zeitindikator. Es gibt nur einen PUCCH im Uplink-Slot, und das



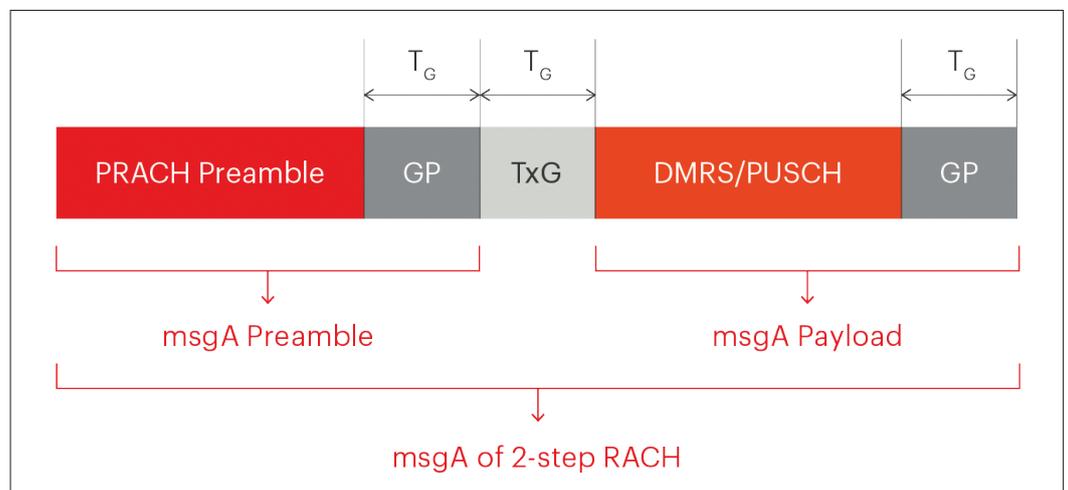
**Bild 4: Zweistufiges RACH-Verfahren**

ist die einzige Möglichkeit für das UE, eine HARQ-Acknowledgment-Nachricht zu senden. Daher würde die Zulassung von mehr als einem PUCCH für die HARQ-ACK-Übertragung die Effizienz der UE-Rückmeldung verbessern und somit die Latenzzeit verringern.

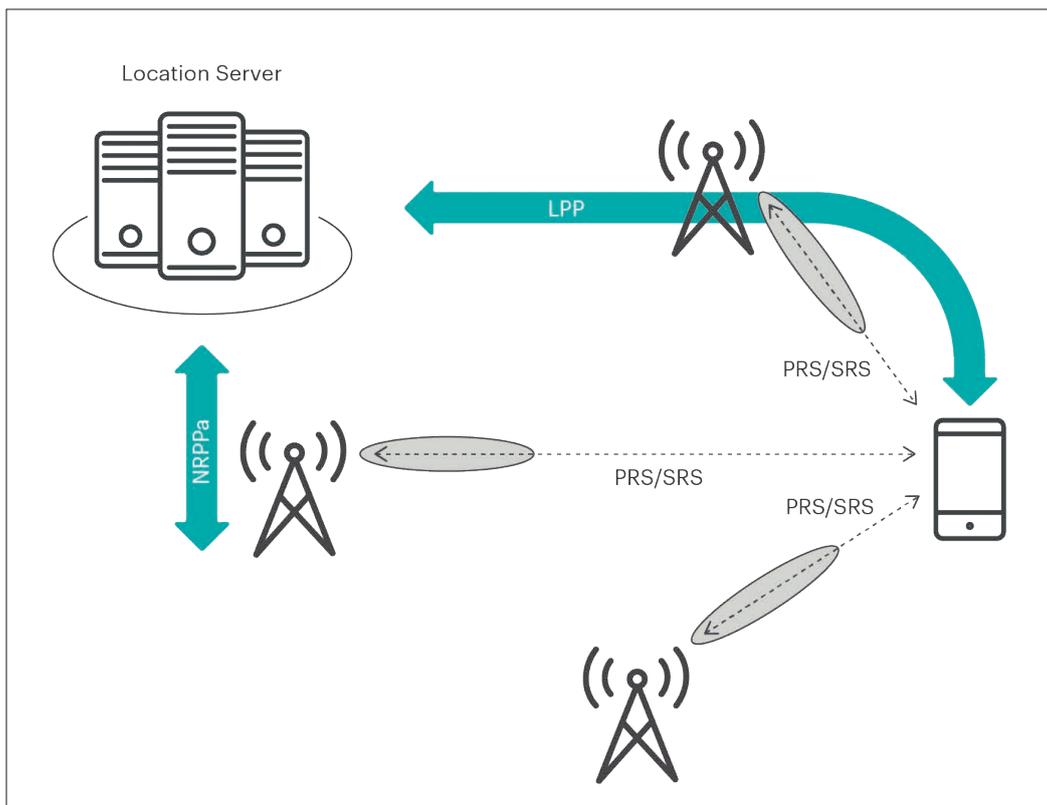
den, um HARQ-Nachrichten früher als bisher zu übertragen. Mit einem zusätzlichen PUCCH kann die Verbindung auch zwei getrennte HARQ-Codebooks ermöglichen, was bedeutet, dass 5G-UEs zwei verschiedene Traffic-Prioritäten gleichzeitig unterstützen können.

Rel-16 ermöglicht die Unterstützung von zwei PUCCHs für HARQ-ACK-Übertragungen innerhalb eines Slots. Außerdem wird das Konzept der PUCCH-Sub-Slots eingeführt. Ein Uplink-Slot wird in mehrere Sub-Slots unterteilt, wie in Bild 2 dargestellt. Rel-15 HARQ-Feedback- und Codebook-Verfahren gelten weiterhin. Die Anzahl der Sub-Slots ist die Granularität, die für den K1-Wert verwendet wird, der mehr PUCCH-Möglichkeiten schafft. In diesem Fall kann der neue PUCCH verwendet wer-

Neben dem Sub-Slot-Konzept wurden in Rel-16 auch mehrere Regeln für den Umgang mit Konflikten bei der Übertragung von Rückmeldungen von Datenverkehr mit zwei unterschiedlichen Prioritäten definiert. Wenn zum Beispiel eine hochpriorisierte URLLC HARQ-ACK mit einer niederpriorisierten eMBB Scheduling Requirement (SR) kollidiert, wird das UE die niederpriorisierte SR verwerfen und stattdessen den höherpriorisierten Verkehr übertragen. In Rel-16 gibt es viele mögliche Kollisionskombinationen. UEs



**Bild 5: Struktur des msg-A-Kanals**



**Bild 6: 5G-RAT-abhängige Positionierungsverfahren**

werden die beiden kollidierenden Rückmeldungen nur dann multiplexen, wenn bestimmte Multiplexbedingungen erfüllt sind, andernfalls werden sie den Datenverkehr mit niedrigerer Priorität verwerfen. Dadurch wird die Effizienz der UCI-Übertragung auf der Bitübertragungsschicht weiter verbessert.

Diese UCI-Verbesserungen in Rel-16 reduzieren die Latenzzeit auf 0,5 ms bis 1 ms und erhöhen die Zuverlässigkeit auf 10<sup>-6</sup> für URLLC-Anwendungsfälle. Das ermöglicht unter anderem privaten Anwendern den Zugriff auf und die Überwachung von Geräten in Echtzeit, beispielsweise in Häfen, Bergwerken und Flughäfen. Mit dieser neuen Funktion von Rel-16 rückt 5G auch näher an Anwendungen wie autonomes Fahren und Remote-Chirurgie.

### Zweistufiges Random Access Channel (RACH) Verfahren

Das RACH-Verfahren enthält die ersten Nachrichten, die beim Aufbau einer Verbindung vom UE an einen gNodeB (gNB) übertragen werden. In LTE und

Rel-15 umfasst der Prozess vier Schritte bzw. vier Nachrichten, die in Bild 3 dargestellt sind.

Dieses vierstufige RACH-Verfahren erfordert zwei Hin- und Herübertragungen zwischen dem UE und einem gNB, nur um die Verbindung herzustellen. Dadurch erhöht sich die Latenzzeit und es entsteht ein zusätzlicher Overhead für die Kontrollsignalisierung. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, bietet Rel-16 ein Hin- und Her- oder zweistufiges RACH-Verfahren, indem es die Random-Access-Preamble-Nachricht 1 und die geplante Übertragungsnachricht 3 zu einer einzigen Nachricht vom UE, bekannt als msg A, kombiniert, wie in Bild 4 dargestellt. In ähnlicher Weise kann die Random Access Antwortnachricht 2 mit der Contention Resolution Message 4 zu einer einzigen msg B vom gNB an das UE kombiniert werden (siehe Bild 4). Andererseits wird bei unlizenziierten Frequenzen durch die Reduzierung der zwischen UE und gNB übertragenen Nachrichtenrunden die Anzahl der LBT-Versuche

(Listen before Talk) verringert. Dies kann den Kanalzugriff verbessern.

Um den zweistufigen RACH-Betrieb sowohl in lizenzierten als auch in unlizenziierten Bändern zu unterstützen, sollte die Kanalstruktur von msg A eine Präambel, eine Nutzlast und eine konfigurierbare Übertragungslücke enthalten, wie in Bild 5 dargestellt. Außerdem müssen verschiedene Zellengrößen, Signalformen und Modulationsverfahren unterstützt werden.

Nach der Übertragung von msg A wird das UE msg B innerhalb eines vorkonfigurierten RAR-Fensters (Random Access Response) überwachen. Die physikalischen Signale von msg B müssen das Demodulationsreferenzsignal (DMRS), den physikalischen Downlink-Kontrollkanal (PDCCH) und den gemeinsamen physikalischen Downlink-Kanal (PDSCH) umfassen.

Um die Einführung zu beschleunigen, hat 3GPP die folgenden Design-Ziele für ein zweistufiges RACH-Verfahren definiert:

- ein gemeinsames Design für alle drei Hauptanwendungen von 5G (eMBB, URLLC und mMTC) sowohl für lizenzierte als auch für unlizenziierte Bänder
- Anwendbarkeit für den Betrieb in jeder in Rel-15 unterstützten Zellengröße und mit oder ohne gültigem Uplink-Zeitabgleich (TA)
- Anwendbarkeit auf verschiedene RRC-Zustände (Radio Resource Control) wie INACTIVE, CONNECTED und IDLE
- Alle Auslöser für den vierstufigen RACH gelten auch für den zweistufigen RACH.

### UE-Positionierung

In bestimmten 5G-Nutzungsfällen, wie dem autonomen Fahren oder dem industriellen IoT, muss das Netz den Standort eines Endgeräts bestimmen. Dieser Prozess wird als UE-Positionierung bezeichnet. Rel-16 definiert mehrere Positionierungsverfahren zur Unterstützung von Multi-/Einzellen- und gerätebasierter Positionierung. Zu den RAT-abhängigen Positionierungsschemata gehören die Round-Trip-Time (RTT), der Einfallswinkel/Ausfallswinkel (AoA/AoD) und die Zeitdifferenz der Ankunft (TDOA). Normalerweise ist mehr als ein gNB oder Sendempfangspunkt (TRP) am Positionierungsprozess beteiligt, um die Genauigkeit der Schätzung zu verbessern. Die Messungen können entweder vom UE oder vom gNB oder manchmal auch von beiden durchgeführt werden. Alle Messungen werden dann an einen Location Server weitergeleitet. Dieser verwendet die Messungen, um die Position des UE zu bestimmen. Es gibt auch RAT-unabhängige Ortungssysteme wie das Global Navigation Satellite System (GNSS). Die bekannteste GNSS-Lösung ist das Global Positioning System (GPS).

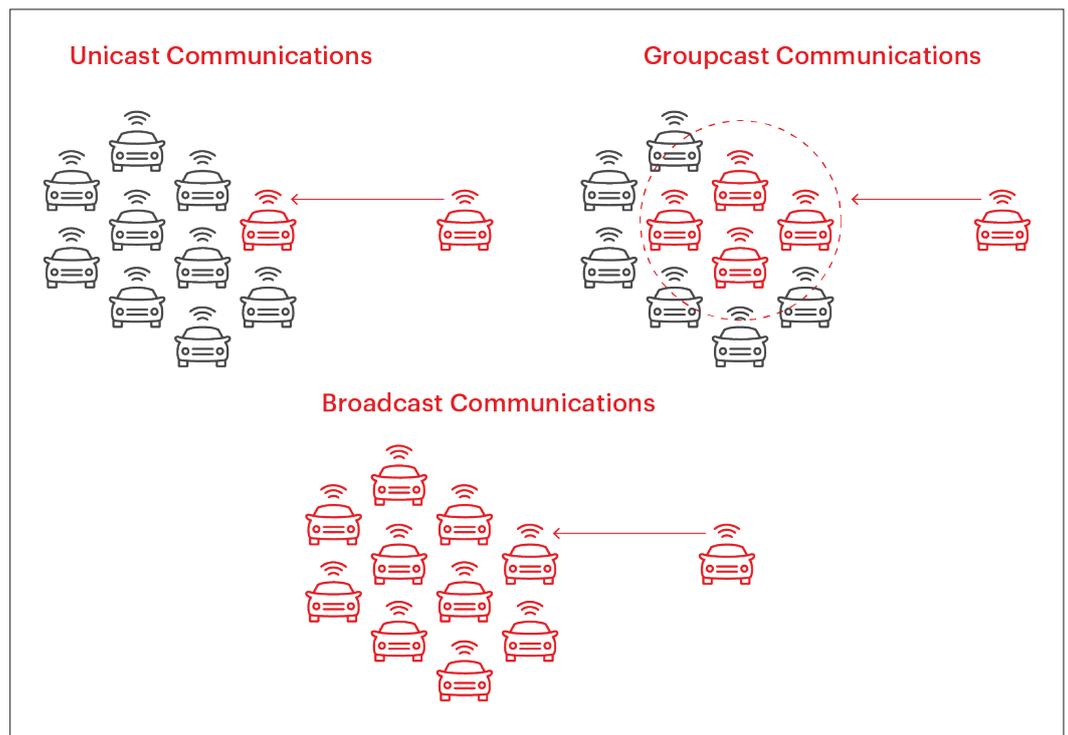
Das TDOA-Verfahren kann weiter unterteilt werden in Downlink-TDOA (DL-TDOA) und Uplink-TDOA (UL-TDOA). In

städtischen oder Innenraumszenarien werden diese Lösungen normalerweise verwendet, wenn keine GNSS-Signale verfügbar sind. Rel-16 führte ein Positionierungsreferenzsignal (PRS) für DL-TDOA-Anwendungsfälle und ein Sondierungsreferenzsignal (SRS) für UL-TDOA ein. Für Downlink-Fälle misst das UE die beobachtete Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des Referenzsignals bei jeder nahe gelegenen Basisstation/TRP. Für Uplink-Fälle führt jede Basisstation/TRP eine Messung der beobachteten Zeitdifferenz des vom UE ankommenden SRS-Signals durch, wie in Bild 6 dargestellt. Ein Location Server nimmt diese Messungen auf und schätzt den Standort des UE.

Der Ausfallswinkel im Downlink (DL-AoD) ermöglicht es dem UE, die Empfangsleistung des Downlink-Referenzsignals pro Strahl/gNB zu messen und den Ausfallswinkel basierend auf dem Standort des UE-Strahls für jeden gNB anzuzeigen. In ähnlicher Weise ermöglicht es der Uplink-Ankunftswinkel (UL-AOA) dem gNB, den Ankunftswinkel basierend auf dem Strahl des UE-Standorts zu messen. In Fällen, in denen die Round-Trip Time (RTT) für mehrere Zellen gilt, führen sowohl die gNB als auch das UE Messungen der Zeitdifferenz zwischen dem Sende- und dem Empfangssignal jeder Zelle durch.

### Erweiterungen für Vehicle-to-Everything (V2X)

Traditionell laufen alle UE-Übertragungen über Basisstationen und das damit verbundene Netz. Sidelink ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen UEs in V2X-Anwendungsfällen ohne Eingriff oder Verbindung zum Netz. V2X gibt es bereits in Rel-14 und Rel-15 auf der Grundlage von LTE-Sidelink. Rel-16 bringt V2X mit zusätzlichen Funktionen in die 5G-Netze. In Rel-16 unterstützt Sidelink die Signalform CP-OFDM (Cyclic-Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing) und den One-Carrier-Betrieb, aber kein Beamforming.



**Bild 7: NR-V2X-Kommunikationsszenarien mit Sidelink**

Die Verwendung von Sidelink hat viele Vorteile. Der offensichtlichste Vorteil ist die Verbesserung der Latenzzeit. Die direkte Kommunikation zwischen zwei UEs legt eine viel geringere Strecke zurück als der Weg über ein gNB, wodurch die Kommunikationslatenz verringert wird. Ein weiterer wichtiger Vorteil von Sidelink ist, dass die Kommunikation zwischen UEs auch an Orten stattfinden kann, an denen keine Basisstation verfügbar ist.

Rel-16 definiert die folgenden Kanäle und Synchronisationssignale für NR-Sidelink, die UEs zur Kommunikation mit anderen UEs nutzen können:

- PSSCH (physical sidelink shared channel)
- PSCCH (physical sidelink control channel)
- PSFCH (physical sidelink feedback channel)
- PSBCH (physical sidelink broadcast channel)
- S-PSS (sidelink primary synchronization signal)
- S-SSS (sidelink secondary synchronization signal)

Es gibt zwei Modi für die Zuweisung von Sidelink-Ressourcen für die NR-Sidelink-Kommunikation. In Modus 1 plant die Basisstation die Sidelink-Ressourcen über die Downlink-Kontrollinformationszugangsverbindung für Sidelink-Übertragungen durch die Endgeräte ein. In Modus 2 kann das Endgerät die Ressourcen für Sidelink-Übertragungen selbstständig bestimmen.

NR-V2X mit Sidelink ermöglicht die Unterstützung von Unicast-, Groupcast- und Broadcast-Kommunikation zwischen einem UE und anderen (s. Bild 7). Die Übertragungsmodi Groupcast und Unicast sind neu für Sidelink und waren in LTE nicht verfügbar. Diese neuen Übertragungsmodi ermöglichen viele fortschrittliche Anwendungsfälle in NR wie autonomes Fahren, gemeinsame Nutzung von Sensoren, Platooning usw. Es unterstützt auch HARQ, lizenzierte und unlizenzierte Bänder. Sidelink kann Sub-Carrier-Abstände von 15, 30 und 60 kHz für FR1 und 60 und 120 kHz für FR2 verwenden. Es unterstützt CP-OFDM, d. h. es bietet eine hohe Zuverlässigkeit oder einen hohen

Durchsatz, je nach den Anforderungen der Anwendung und dem Kanalzustand unter Verwendung von Quadratur-Phasenumtastung (QPSK) und 16/64/256-QAM (Quadratur-Amplitudenmodulation).

### Fazit

Rel-16 ist ein großer Schritt nach vorn für die 5G-Branche. Es brachte erhebliche Verbesserungen für URLLC-Anwendungsfälle durch die Implementierung von UCI-Feedback-Verbesserungen. Außerdem wurde ein zweistufiges RACH-Verfahren eingeführt, um das bestehende vierstufige RACH-Verfahren zu ergänzen und die Ressourceneffizienz weiter zu verbessern. Rel-16 definiert neue UE-Positionierungsverfahren, die dem Netz helfen, den Standort eines UE in 5G-Netzen für Innen- und Außenszenarien genauer zu bestimmen. Der NR-Sidelink ermöglicht es Fahrzeugen, über das 5G-Netz und dedizierte Kanäle direkt miteinander zu kommunizieren, was viele neue Anwendungen erschließen wird. 3GPP wird diese Funktionen in künftigen Versionen weiter verbessern. ◀

# Welche Rolle spielen Millimeterwellen für den Erfolg von 5G?



© Frederik Lipfert

Während 5G noch am Anfang steht und mit neuen 3GPP Releases verbessert und verfeinert wird, ist es wichtig, zu verstehen, welche Rolle das mm-Wellen-Spektrum dabei spielen wird.

In letzter Zeit wurde viel darüber diskutiert, wie 5G unser Leben verbessern und das Wirtschaftswachstum ankurbeln kann. 5G soll Konnektivitätsdienste mit hoher Verfügbarkeit, sehr hoher Zuverlässigkeit und geringer Latenz ermöglichen. 5G wird angepriesen, um unsere Gesellschaft vernetzter zu machen und kostenlos hochauflösende Videoinhalte streamen oder an durch AR/VR verbesserten Echtzeit-Online-Spielen teilnehmen zu können. Als weitere neue Anwendungsfälle kommen z.B. Smart Manufacturing, Smart Agriculture, Smart Energy, Autonomes Fahren und Logistik hinzu. Während 5G noch am Anfang steht und mit neuen 3GPP Releases verbessert und verfeinert wird, ist es wichtig, zu verstehen, welche Rolle das mm-Wellen-Spektrum dazu beitragen wird, damit 5G seine Versprechen halten kann.

In diesem Beitrag wird kurz beschrieben, was Millimeterwellen sind und diskutiert, wie das mm-Wellenspektrums für die Verbesserung von Breit-

banddiensten sorgen kann. Weiter werden die Vorteile und Herausforderungen im Zusammenhang mit der Übertragung auf Funkwellen mit sehr hohen Frequenzen erörtert.

## Was ist das Millimeterwellenspektrum?

Millimeterwellen sind eine Teilmenge eines elektromagnetischen Spektrums, wobei diese Teilmenge von 30 bis 300 GHz reicht [1]. Hier handelt es sich um ein interessantes Frequenzband, das zunehmend für drahtlose Hochgeschwindigkeitskommunikation erforscht und bereits eingesetzt wird. Die Möglichkeiten der kabelgebundenen Kommunikation werden übertriften und daher ist in absehbarer Zukunft zu erwarten, dass dem Bedarf an verbesserter Datenleistung von Netzwerken nachgekommen wird und dass die gegenwärtigen Bandbreitenengpässe im Sub-7-GHz-Spektrum durch Nutzung des mm-Wellen-Spektrum zu einem sehr attraktiven Angebot. Damit entstehen aber auch Herausforderungen und Probleme, die von Forschern und Ingenieuren angegangen werden müssen zwecks Entwicklung und Bereitstellung von 5G-Geräten, -Systemen und -Netzwerken.

5G-Systeme werden u.a. für den Betrieb unter 1 GHz, im Sub-7-GHz-Bereich (1...7,1 GHz) und im mm-Wellen-Bereich implementiert, wobei der letztgenannte von 3GPP Release 16 als Spektrum zwischen 24,25 und 52,6 GHz definiert wird. Die Arbeit wird in Release 17 fortgesetzt, das weitere Funktionen einführen wird, die das Spektrum bis 71 GHz unterstützen [2].

Was macht das Millimeterwellen nun entscheidend für den Erfolg von 5G? Das Millimeterwellenspektrum bietet mehrere Vorteile und eröffnet neue Möglichkeiten für 5G, die von allen bisherigen

Kommunikationstechnologien ungenutzt gelassen wurden. Hier sind fünf grundlegende Attribute der mm-Wellen, die es ermöglichen, das 5G-Potenzial auszuschöpfen zu können:

## 1. Größere Bandbreiten

Das Funkspektrum ist eine stark belegte Ressource, insbesondere im Low- und Midband-Bereich (bis zu 7 GHz). Das Highband (24,25...52,6 GHz) – das 5G-mm-Wellen-Spektrum – ist dagegen deutlich breiter als das Sub-7-GHz-Band. Es ist auch viel weniger überfüllt und bietet sich daher zur Bereitstellung enormer Bandbreitenkapazitäten für neue Anwendungen an wie z.B.:

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB)

ermöglicht Breitband überall, intelligente Büros, vernetzte Fahrzeuge und verbesserte Multimedia-Möglichkeiten.

- massives Internet der Dinge

für intelligente Gebäude und Städte, Landwirtschaft und Umwelt, Verkehr & Logistik sowie Consumer Wearables

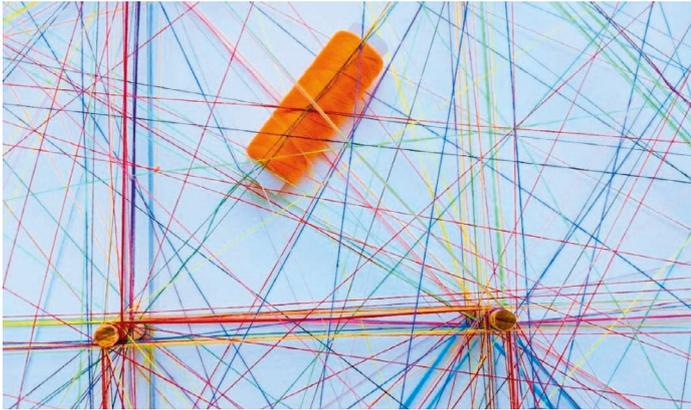
- extrem zuverlässige Anwendungen mit geringer Latenz

für geschäftskritische Kommunikation von Maschinentypen, Prozess- und Fabrikautomatisierung, öffentliche Sicherheit und Notfallbeseitigung, Gesundheitswesen und Remote Operation

## 2. Kleiner Antennenformfaktor

Da die Wellenlänge des Funksignals umgekehrt proportional zur Frequenz ist, ermöglicht das mm-Wellen-Spektrum Antennenarrays, die trotz ihrer kompakten Größe in der Lage sind, sehr hohe Effizienzen und Gewinne zu liefern und die dabei helfen, erhöhte Ausbreitungsverluste zu überwinden (s. weiter unten). Zum Beispiel weist ein Antennenarray bei 70 GHz rund ein Viertel der Größe einer

*What is the role of millimeter waves in the success of 5G?*  
Tomasz Waliwander,  
Chief Technology Officer  
Farran, Ireland,  
www.farran.com  
July 2021  
übersetzt von FS



© Omar Flores

für 30 GHz ausgelegten Antenne auf (Flächenvergleich).

### 3. Geringe Wartezeit (Latenzzeit)

Latenz ist die Zeit, die ein Signal benötigt, um von der Quelle zum Ziel zu gelangen und von dort als Antwort/Reaktion zum Ziel zurückzukehren [4]. Eines der Versprechen von 5G ist eine Latenz in der Größenordnung von wenigen Millisekunden, idealerweise sogar unter 1 ms. Dies soll sowohl durch effizientere Datenübertragungsprotokolle als auch durch die Verwendung hochfrequenter Millimeterwellensignale erreicht werden: Je höher die Frequenz, desto mehr verringert sich die theoretische Latenzgrenze.

Es gibt mehrere Anwendungsfälle und Echtzeitanwendungen, für welche eine geringe Latenz mehr noch als eine höhere Datenrate wichtig ist. Ein Beispiel sind autonome Fahrzeuge, die sich mit hoher Geschwindigkeit bewegen und Echtzeitinformationen über ihrer Umgebung benötigen. Eine weitere Anwendung ist die Fabrikautomation, wobei mit einer drahtlosen Konnektivität mit geringer Latenz für alle Maschinentypen ermöglicht wird, den Nutzen und die Effizienz von Robotern zu erhöhen [4]. Niedrige Latenzzeiten sind von grundlegender Bedeutung für das morgige Gesundheitswesen, wo weitentfernte Patienten durch Remote Praxen untersucht werden können. So kann man Zeit und Kosten sparen und Personalengpässen begegnen. Video-

Feedback sowie robotische Reaktion sind hier nur möglich bei hohen Anforderungen an das Netzwerk mit einem Latenzbedarf von weniger als 20 ms [5]. Auch andere Anwendungsfälle erfordern eine schnelle Echtzeitkommunikation mit geringer Latenz: Notfallmaßnahmen, Notfallbeseitigung und öffentliche Sicherheit [3]. Schließlich ist die Benutzererfahrung von Online-Spielen weitgehend abhängig von der Latenz, während die reinen Download- und Upload-Geschwindigkeiten eine untergeordnete Rolle spielen.

### 4. Hohe Netzverdichtung

Durch deutlich höhere Ausbreitungsverluste ist der Übertragungsbereich von mm-Wellen im Vergleich zu Sub-7-GHz-Netzen erheblich reduziert [3]. Die Bereitstellung der erforderlichen Abdeckung erfordert eine größere Anzahl an Zellen. Diese Netzverdichtung sichert mit die höheren Datenraten und die höhere Kapazität und Service-Verfügbarkeit gegenüber 4G. Höhere Netzverdichtung bedeutet natürlich erhöhte Kosten für die Basisstationen insgesamt.

### 5. Doppelnutzung des Kanals

Das 5G-Netz basiert auf dem Time-Division-Duplex-Übertragungssystem, was bedeutet, dass dieselben Frequenzen sowohl für die Up- als auch für die Downlink-Kommunikation verwendet werden. Derselbe Kommunikationskanal dient zum Senden und Empfangen von Daten. Eine solche Anordnung spart eine erhebliche Menge an Netzwer-

kressourcen [3]. Auch das trägt dazu bei, dass das 5G-Netz seinen Erwartungen gerecht wird.

### Licht und Schatten

Diesen Vorteilen stehen jedoch einige Nachteile oder Eigenheiten der Millimeterwellen gegenüber. Es ist unabdinglich für Planer, Designer und Ingenieure, auch diese Punkte gut zu kennen und zu berücksichtigen:

### Freiraum-Pathloss

Der Pathloss (Ausbreitungswegverlust) ist ein wichtiger Aspekt für jedes drahtlose Kommunikationssystem. Grundsätzlich gilt: Hochfrequente Signale werden gegenüber niederfrequenten Signalen stärker gedämpft [3]. Beispielsweise leidet ein Signal bei 39 GHz unter einem um 31,6 dB höheren Freiraumverlust als ein Signal bei 1 GHz, d.h., seine Energie am Empfangspunkt ist um fast das 1500-fache niedriger [3]. Das Problem „Pathloss“ erfordert eine gründliche Analyse und Gestaltung des Linkbudgets.

### Abschattungseffekte

Zusätzliche Effekte, unter denen die mm-Wellen stärker als Wellen im Sub-7-GHz-Band leiden, sind Signalblockaden durch Hindernisse in der Ausbreitungs-umgebung. Millimeterwellen werden viel leichter absorbiert, reflektiert und gestreut oder gebeugt als Mikrowellen. Diese Phänomene reduzieren deutlich die Signalstärke von mm-Wellen und müssen durch sorgfältige Kanalmodellierung angemessen berücksichtigt werden. Einen Ausgleich bietet der Einsatz von Antennenarrays mit hohem Gewinn bzw. eine schmale Strahlformung.

### Penetrationsverlust

Wenn das Millimeterwellensignal auf Oberflächen und Gegenstände trifft, die aus verschiedenen Materialien bestehen, wie z.B. Glas, Beton, Holz und viele andere, wird es geschwächt. Ein Maß dafür ist der Penetrationsverlust. Das Phänomen ist definiert als der Unterschied in den

Leistungsstufen zwischen einem ungehinderten und einem behinderten Signal und wird sowohl durch Absorption als auch durch Reflexion verursacht [3]. Der Penetrationsverlust ist stark abhängig von der Frequenz des Signals, der Permittivität des Materials und seiner Dicke sowie vom Einfallswinkel des Signals und seiner Polarisation. Während bestimmte Materialien einigermaßen transparent bis zum mm-Wellen-Bereich bleiben mit nur geringfügig höheren Verlusten im Vergleich zu Mikrowellen, verursachen anderen Materialien, die auch häufig beim Bau von Außenwänden von Gebäuden benutzt werden wie getöntes Glas, Ziegel und Beton starke Signalreflexionen, die zu extremen Eindringverlusten führen [3]. Getöntes Glas zeichnet sich durch einen sechs- bis zehnmals höheren Ausbreitungsverlust aus als sein klares (unbeschichtetes) Äquivalent.

Folglich ist nicht zu erwarten, dass Millimeterwellensignale von 5G die Gebäudewände in einem Kommunikationsszenario von außen nach innen bzw. und umgekehrt signifikant durchdringen. Dies ermöglicht den Betrieb privater Indoor-Netze neben öffentliche Netzwerke im Freien mit minimalen Interferenzen. Die Indoor-Millimeterwellen-5G-Abdeckung kann jedoch nicht von den Outdoor-Basisstationen erreicht werden. Eine Lösung besteht darin, Repeater und Relais zu verwenden. Diese zusätzlichen Netzwerkkompo-



© Roberto Nickson



© Minh Pham

nenten erhöhen die Kosten und die Komplexität des Netzwerks.

## Verlust durch Laub und Vegetation

Die 5G-Kommunikation auf Bodenebene wird wahrscheinlich auch durch Laub und Vegetation, also Blattpflanzen und Bäume verschiedener Strukturen behindert. Laub kann Millimeterwellen vollständig dämpfen. Zum Beispiel bei 57,6 GHz erhöht ein 5 m hoher Laubbaum im Signalpfad die Dämpfung um 40 dB im Vergleich mit einem Mikrowellensignal bei 9,6 GHz [3].

## Verlust durch den menschlichen Körper

Der menschliche Körper stellt ein erhebliches Hindernis für mm-Wellen dar infolge Reflexion und Streuung. Eine einzelne Person fügt typischerweise dem Signalpfad zwischen 25 und 40 dB Verlust hinzu [3]. Dies stellt eine erhebliche Herausforderung in Bezug auf die Designs mobiler Geräte und Beamforming-Lösungen dar. (Bezüglich von etwa im Internet oder auf Demonstrationen kommunizierten Behauptungen, die 5G-Wellen seien schädlich für den menschlichen Körper oder sie können dessen Funktion beeinflussen, sei betont, dass die Energie der Wellen durch Reflexion und Streuung abgewiesen wird – d. Übers.)

## Atmosphärischer Verlust

Gasmoleküle, aus denen unsere Atmosphäre besteht, absorbieren die Energie von Funkwellensignalen bei den Frequenzen, bei denen ihre Resonanzen auftreten. Es gibt zwei dominante Quellen für die atmosphärische

Dämpfung: Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O):

- Resonanzfrequenzen bei 60 und 115 GHz für Sauerstoff
- 23, 180 bzw. 315 GHz für Wasserdampf [3]

Die Auswirkungen der Sauerstoffresonanz sind bei 60 GHz besonders ausgeprägt. Für eine drahtlose Kommunikation wären hier zusätzliche 13 dB/km Dämpfung typisch.

## Zusammenfassung

Hoher Freiraumverlust und zusätzliche Quellen der mm-Wellen-Signaldämpfung im Vergleich zu Sub-7-GHz-Anwendung bedeutet für die 5G-Kommunikation kurze Reichweite und Sichtverbindung (Line of Sight, LOS) im mm-Wellenband. Während 5G als 100-mal besser als 4G vermarktet wird, versteht es sich von selbst, dass es hier um eine verhältnismäßig komplexe und weitaus anspruchsvollere Technologie geht, was in Wissenschaft und Forschung, beim Design und bei der Implementierung von Komponenten, Systemen und Netzwerken berücksichtigt werden muss.

Zwar wird der 5G-Erfolg nicht allein vom mm-Wellen-Band abhängen, da bereits mit dem Sub-7-GHz-Bereich, der eine Steuerungsebene für Erfassung, Paging und Mobilität bietet, Erwartungen erfüllt werden, ist der mmWave-Bereich für beispiellose mobile Datenraten, Bandbreitenverfügbarkeit und Latenznutzung ein Muss. Erst durch den vollständigen Einsatz einer 5G-Technologie können ihre wahren Vorteile erreicht werden.

Die wahre Geschwindigkeit und Leistung von 5G wird noch selten erlebt. Aktuelle durchschnittliche Benutzerzeiten auf 5G-Diensten im Millimeterwellenband liegen in den USA zwischen 0,5% und 0,8% [6]. Allerdings scheint es, dass die Geräteverfügbarkeit und Bereitstellung von 5G-Netzen viel schneller wächst als bei allen vorherigen Generationen und es wird erwartet, dass die Anzahl

der 5G-Abonnements und die Anzahl der IoT-Verbindungen 3 bzw. 5 Milliarden erreichen [2]. Die Erwartungen sind sehr hoch und 5G-Netze müssen immer mehr das Millimeterwellenband nutzen, um sicherzustellen, dass die kritischen Anforderungen für alle Anwendungsfälle erfüllt sind.

## Verweise:

[1] [www.rcrwireless.com/20160815/fundamentals/mmwave-5g-tag31-tag99](http://www.rcrwireless.com/20160815/fundamentals/mmwave-5g-tag31-tag99)

[2] 3GPP Releases 16 & 17 & Beyond, 5G Americas, Whitepaper, Januar 2021.

[3] Understanding mmWave for 5G Networks, 5G Americas, Whitepaper, Dez. 2020.

[4] [www.everythingrf.com/community/why-is-low-latency-important-for-5g](http://www.everythingrf.com/community/why-is-low-latency-important-for-5g)

[5] Evaluierung der Fernchirurgie in einer ultrazuverlässigen Kommunikation mit niedriger Latenz (URLLC)

[6] [www.opensignal.com/2021/04/28/quantifying-the-mmwave-5g-experience-in-the-us](http://www.opensignal.com/2021/04/28/quantifying-the-mmwave-5g-experience-in-the-us)

[7] [www.rcrwireless.com/20210503/5g/korean-operators-end-april-fast-14-million-5g-](http://www.rcrwireless.com/20210503/5g/korean-operators-end-april-fast-14-million-5g-) ◀

## 5G NR Dual Connectivity (DC)

ist eine Funktion, die es mobilen Geräten ermöglicht, sowohl Midband- als auch mmWave-Frequenzen (LTE und FR2) zu nutzen, um eine verbesserte Netzabdeckung und Datenrate bereitzustellen. Dies erfolgt durch die Implementierung einer Trägeraggregation, die es Mobilfunkbetreibern ermöglicht, zwei oder mehr Träger in einem einzigen Datenkanal zu kombinieren, um die Kapazität des Netzes und die Datenraten zu erhöhen. 5G-Dual-Konnektivität mit mmWave- und Sub-6-GHz-Frequenzen ist entscheidend für die Bereitstellung von Multi-Gigabit-Geschwindigkeiten und die enorme Kapazität, die für eine neue Generation von Verbraucher- und Unternehmensanwendungen erforderlich ist.

Durch die Kombination verschiedener Arten von Funkfrequenzen können mobile 5G-Geräte auch unter schwierigen Bedingungen wie überfüllten Veranstaltungsorten und Verkehrsknotenpunkten drahtlos Geschwindigkeiten der kabelgebundenen Breitbandklasse erreichen und robuste 5G-Festnetzzugangsdienste in Privathaushalten und kleinen Unternehmen versorgen.

5G NR DC ermöglicht es Betreibern, eine verbesserte Leistung in ihren Non-Standalone-5G-Netzwerken (NSA) bereitzustellen. Nicht eigenständige 5G-Netze basieren auf einem LTE-Kern- und Funkzugangnetz mit einem zusätzlichen 5G Carrier. NR DC kombiniert den höheren Abdeckungsbereich von LTE-Midband-Frequenzen und die höhere Datenrate von 5G-mmWave-Frequenzen.

5G NR DC unterstützt leistungsstarke, latenzempfindliche Anwendungen für Verbraucher und Unternehmen und wird auch dazu beitragen, den Weg für neue innovative Anwendungsfälle für mobiles Breitband und Fixed Wireless Access wie Spiele und immersive Medien zu ebnet. Es wird eine sehr attraktive Option für Telekommunikationsbetreiber für ihre 5G-Einsatzstrategien sein, da es den Abdeckungsbereich erhöht und gleichzeitig hohe Datenraten liefert.

Ericsson und MediaTek aggregierten 800 MHz des Highband-Spektrums und 60 MHz des Midband-Spektrums, um Geschwindigkeiten von bis zu 5,1 Gbit/s auf einem einzelnen Benutzergerät zu erreichen.

## Leistungsstarke 5G-Plattform für vereinfachte Gerätetests



Rohde & Schwarz bringt seinen bewährten R&S CMX500 5G Radio Communication Tester mit einem umfangreichen Upgrade zum MWC Barcelona 2022. Der neue R&S CMX500 One-Box-Tester bietet eine breite Palette von Gerätetestfunktionen einschließlich Unterstützung für alle 5G NR-Implementierungen wie LTE, 5G NR FR1 und FR2 im Non-Standalone- und Standalone Modus (NSA/SA) sowohl für FDD als auch für TDD und kombiniert dabei ein müheloses Setup mit herausragender Performance. Hersteller moderner 5G NR-fähiger Chipsätze und Geräte sowie Zertifizierungsanbieter können mit dem R&S CMX500 One-Box-Tester den gesamten Produktlebenszyklus abdecken, von den frühen Entwicklungsphasen bis hin zu End-to-End-Applikationstests und Gerätezertifizierung.

Um das One-Box-Tester-Konzept verwirklichen zu können, hat Rohde & Schwarz neue Sub-8-GHz-HF-Einheiten für FR1 in den R&S CMX500 integriert. In Kombination mit den neuen Remote Radio Heads (RRH), die jetzt Millimeterwellenfrequenzen bis 50 GHz in FR2 abdecken, erreicht der R&S CMX500 One-Box-Tester eine marktführende Performance. Somit lassen sich nun auch anspruchsvolle 5G NR-Band-

kombinationen mit einem einzigen R&S CMX500 simulieren. So ist beispielsweise eine Trägerbündelung höherer Ordnung mit bis zu 8CC-Kombinationen von FR1 und FR2 im Downlink möglich, wodurch Datenraten von 10 Gbps und mehr auf der IP-Ebene erreicht werden können.

Datenintensive eMBB-Anwendungen (Enhanced Mobile Broadband) wie 8K-Video-Streaming oder Augmented und Virtual Reality werden Datenraten von bis zu 10 Gbps im Uplink und 20 Gbps im Downlink erfordern. Dank seinem zukunfts-sicheren Konzept ist der R&S CMX500 One-Box-Tester heute schon dafür gerüstet, den in Zukunft benötigten Datendurchsatz zu validieren – und das mit einem einzigen Gerät, das damit zehnmal leistungsfähiger ist als der 4G-Branchenführer, der R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester.

Mit dem neuen R&S CMX500 One-Box-Tester setzt Rohde & Schwarz seine One-Platform-Strategie fort – die Verwendung gleicher Testkonzepte und identischer Messungen, um reproduzierbare und validierte Testergebnisse von der Forschung und Entwicklung über die Geräte-zertifizierung bis hin zur Massenproduktion zu erzielen. Das modulare Hardware-Konzept des R&S CMX500 wird durch R&S

CMsquares ergänzt. Mit dieser einzigartigen webbasierten grafischen Benutzeroberfläche können Benutzer ihre 5G-Tests mithilfe von intuitiven Messfeldern mühelos verwalten, von HF-Callbox-Messungen über die Protokollverifizierung bis hin zu Applikationstests höherer Ebene. Das umfassende Testportfolio von Rohde & Schwarz deckt auch die zugehörige Peripherie wie Schirmkammern für Over-the-Air-(OTA)-Messungen in FR2 ab – der Anwender erhält alle Lösungen aus einer Hand, die sich daher nahtlos in bestehende Testaufbauten integrieren lassen.

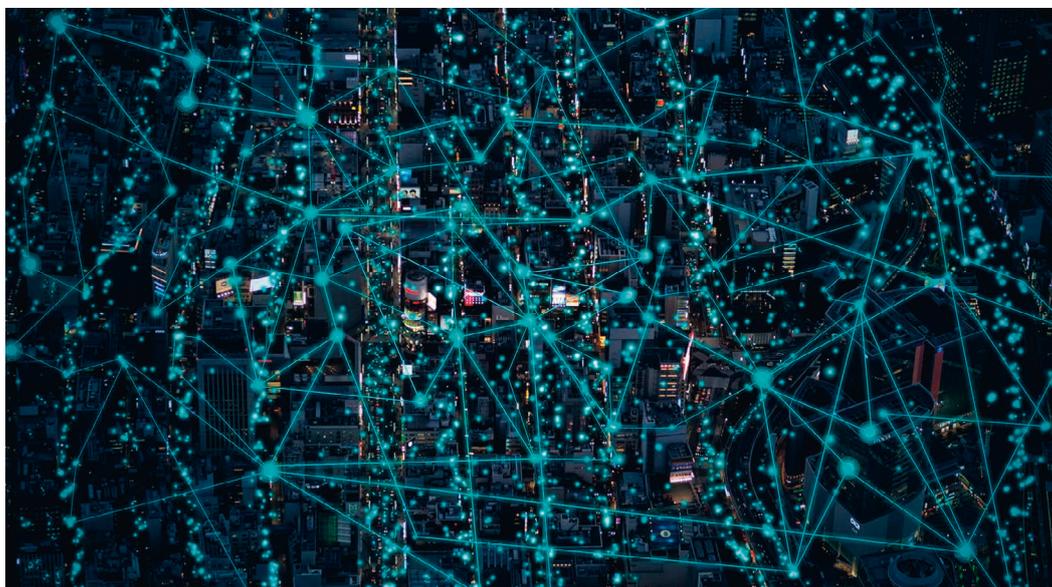
Christoph Pointner, Senior Vice President Mobile Radio Testers bei Rohde & Schwarz, kommentiert die Einführung des neuen One-Box-Testers: „Wir möchten, dass unsere Kunden und die gesamte Mobilfunkindustrie ihre 5G-Test-Strategie von Grund auf überdenken. Die Flexibilität der 5G-Technologie führt zu mehr Varianten, mehr Optionen, aber auch mehr Komplexität. Für die Gerätehersteller müssen sich daraus jedoch nicht zwangsläufig ebenso komplexe Testaufbauten und -routinen ergeben. Mit dem neuen R&S CMX500 One-Box-Tester macht Rohde & Schwarz 5G-Tests so einfach und unkompliziert wie nie zuvor. In die Entwicklung unserer wegweisenden Lösungen für Mobilfunkgerätetests fließen jahrelange Erfahrung in der Mobilfunkmesstechnik und hochspezialisiertes Knowhow ein, damit unsere Kunden für aktuelle und künftige Prüfaufgaben optimal gerüstet sind.“

Auf dem MWC Barcelona 2022 zeigt Rohde & Schwarz einen Vorgeschmack auf die Datenraten der Zukunft: In der Fira Gran Via in Barcelona in Halle 5, Stand 5A80, werden Besucher die Demonstration eines Testfalls, der einen hohen Datendurchsatz im Downlink über die IP-Schicht von bis zu 10 Gbps End-to-End-IP-Datenleistung verifiziert, erleben können. ◀

Rohde & Schwarz  
GmbH & Co. KG  
[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)

# Welche Art von 6G wollen wir?

Der Autor schildert seine Vision, wohin uns die nächste Generation der Mobilfunknetze führen kann – und was wir brauchen, um diese zu realisieren.



Im Mobilfunkbereich scheint die Abfolge der Generationen ein natürlicher Prozess zu sein. Im Moment haben Verbraucher und Unternehmen gerade erst begonnen, die Möglichkeiten von 5G zu erkunden. Aber schon jetzt arbeiten Wissenschaftler und zunehmend auch Technologieunternehmen an den Möglichkeiten jenseits davon. Bis zum Ende dieses Jahrzehnts werden wir wahrscheinlich von den modernsten Implementierungen von 5G zu den ersten Versionen von 6G übergehen.

### Diskussion dauert an

Die technischen Details der 6G-Technologie werden noch diskutiert. Ihre Hauptvorteile liegen jedoch auf der Hand: Sie wird wesentlich höhere Datenübertragungsraten (z.B. 100 Gbit/s) und extrem nied-

rige Latenzzeiten (wenige  $\mu$ s) ermöglichen. Diese Fortschritte werden dann im neueroberten Bereich zwischen 100 und 300 GHz erreicht.

Weniger klar sind die Anwendungen, welche diese faszinierenden Möglichkeiten nutzen werden. Zwar lehrt die Geschichte, dass der Markt bald Wege findet, neue Möglichkeiten gewinnbringend zu nutzen. Sie lehrt aber auch, dass neue Technologien von gesellschaftlichen Kreisen verteuert und bekämpft werden können. Dies vor allem dann, wenn sie menschliche Arbeit überflüssig machen oder von Nichtfachleuten als gesundheitlich bedenklich empfunden werden können. Dies darf man nicht ignorieren, wenn man will, dass 6G ein Erfolg wird. Dabei wird der eigentliche „Elefant im Raum“ vom Volk noch gar nicht wahrgenommen: der potenziell massive Energieverbrauch, begründet damit, weil die Halbleitertechnik für 100...300 GHz noch nicht in der Lage ist, hier energieeffizient zu arbeiten. Die Energieeffizienz der Kerntechnologien von 6G zu erhöhen, ist daher dringend geboten.

### 6G eröffnet zusätzliche Möglichkeiten

Die Ankündigungen von 4G und 5G enthielten in der Regel eine beeindruckend niedrige Zahl von Sekunden für das Herunterladen eines Musikalbums oder einer Netflix-Episode. Mit 6G wird diese Marketing-Strategie nicht mehr funktionieren, weil kürzere Zeiten nicht mehr gewünscht werden. Das Gleiche gilt für Qualitätsverbesserungen: Sobald wir eine Auflösung von 4K erreichen, wird jede zusätzliche Bildinformation nicht mehr wahrgenommen.

Stattdessen wird die audiovisuelle Kommunikation um eine zusätzliche Dimension erweitert. Die Fern-Holografie wird eine der auffälligsten Anwendungen sein, die durch die höheren Datenraten von 6G möglich werden. Der nächste Schritt: Telepräsenz erlaubt es, Gesprächspartner aus der Ferne so zu erleben, als wären sie im selben Raum, und das ohne VR-Brille! Man kann die Partner auch virtuell berühren, ihnen einen virtuellen Gegenstand reichen und so weiter.

Die kompakte On-Chip-Technologie für dieses haptische Feedback befindet sich bereits in der Entwicklung. Die Implementierung von Zwei-Wege-Berührungen in perfekter Synchronisation mit Ton und dreidimensionalen Bildern erfordert jedoch Datenraten und Latenzzeiten, wie sie nur mit 6G möglich sein werden.

### Der tatsächliche gesellschaftliche Nutzen von 6G

Anwendungen wie die Telepräsenz sorgen dafür, dass die Unterhaltungsindustrie den Mehrwert von 6G schnell erkennen wird. Es ist auch unschwer auszumalen, wie die Telearbeit davon profitieren könnte. Aber werden entsprechende Videospiele und Business Meetings ausreichen, um die Öffentlichkeit für die notwendigen massiven Investitionen zu begeistern?

6G hat das Potenzial, das Leben von Millionen von Menschen zu verbessern und sogar zu retten. Nehmen wir die Ferndiagnose und Fernchirurgie – Anwendungen, die in etwa auf denselben Technologien beruhen wie die Telepräsenz. Ärzte könnten nun bei der Beurteilung oder Behandlung eines Patienten direkt auf die Hilfe von weit entfernten Fachkollegen zurückgreifen. Das wäre ein großer Fortschritt für die Gesundheitsversorgung, insbesondere in ländlichen Gebieten. Wie hilfreich wäre es gewesen, wenn wir während der Pandemie eine derartige Fernversorgung bereits gehabt hätten! Oder wirklich realitätsnahe virtuelle Klassenzimmer? Oder virtuellen Reisen und Theateraufführungen?

Eine der wichtigsten Lehren aus COVID-19 ist, dass eine starke Kommunikationsinfrastruktur uns zusammenhalten kann, wenn wir gezwungen sind, eine physische Distanz zu wahren. Unter

Autor:  
Piet Wambacq  
Imec  
www.imec-int.com

diesen Gesichtspunkten ist die Entwicklung von 6G eine Investition in die Resilienz unserer Gesellschaft. Geht es um die Sicherheit im Straßenverkehr, so setzen Viele von uns auf das selbstfahrende Auto. Bis dahin helfen uns fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (ADAS) immer besser dabei, gefährliche Situationen zu vermeiden. Dabei spielt die erweiterte Realität eine große Rolle, etwa durch die Projektion wichtiger Informationen auf unsere Windschutzscheiben. Wie wäre es zum Beispiel, wenn wir über den Verkehr aus einer nicht einsehbaren Seitenstraße gewarnt werden könnten? Auch diese Art von Anwendung ist nur mit der hohen Geschwindigkeit und Latenzzeit möglich, die 6G bieten wird.

### Über die Grenzen der menschlichen Möglichkeiten hinaus

All diese Möglichkeiten haben gemeinsam, dass mindestens ein Mensch an der Kommunikation beteiligt ist. Das begrenzt die Informationsfülle auf das, was Menschen mit ihren Sinnen verarbeiten können. Maschinen sind jedoch nicht an solche Grenzen gebunden.

Wenn wir über die Zukunft der Konnektivität nachdenken, wird eine der wichtigsten Entwicklungen darin bestehen, dass nicht-menschliche Einheiten miteinander kommunizieren. Denken Sie nicht nur an fortschrittliche IoT-Sensoren: Wir sprechen von intelligenten Geräten, die uns umgeben und unser Leben verbessern. Sie sammeln Daten durch Video, Lidar, Radar usw. in für Menschen unfassbaren Mengen. Sie tauschen diese Daten aus, lernen daraus und – was am wichtigsten ist – sie lernen voneinander. Stellen Sie sich die Möglichkeiten für die Automatisierung von Industrie und Landwirtschaft, die engmaschige und kontinuierliche Überwachung der Wasser- und Luftqualität vor.

Kurzum, die einzige Grenze für Anwendungen von 6G scheint die unserer Vorstellungskraft

zu sein. Doch bevor wir unserer Inspiration freien Lauf lassen, müssen wir uns mit einer physikalischen Begrenzung befassen:

### Der drohende Tribut für 6G

Die Nutzung sehr hoher Frequenzen bedeutet heute, dass die Geräte eine sehr hohe Versorgungsleistung benötigen. Bei einer explosionsartigen Zunahme der Anzahl dieser Geräte entsteht ein sehr hoher Preis für all die skizzierten Vorteile. Die Nettobilanz der Nachhaltigkeit könnte negativ ausfallen. Die neue Generation von Konnektivitätstechnologien könnte von einer zunehmend energiebewussten Öffentlichkeit abgelehnt werden.

Die gute Nachricht: Die Leistungsstärke der Sendeanlagen ist nicht der einzige Faktor ist, der den Energieverbrauch bestimmt. 6G-Geräte sollten nicht „immer eingeschaltet“ sein. Durch intelligentes Design von Hard- und Software können wir die Zeiträume, in denen die Elektronik Energie verbraucht, minimieren und die Datenmenge, die dabei übertragen wird, maximieren. Dennoch sollte die Energieeffizienz der Kern-Hardware ein Hauptanliegen sein.

### 6G-Forschung aus Sicht der Technologie und Systementwicklung

All diese Überlegungen zur Zukunft der allgegenwärtigen Konnektivität fließen in unsere Arbeit bei Imec ein. Wir befassen uns mit leistungsstarken optischen Kommunikationstechnologien, um die Verbindungen zu und von den drahtlosen Sendern und Empfängern zu stärken. Unser Programm für fortschrittliche CMOS-Technologien bereitet die höheren Schaltraten vor, die für die digitale Signalverarbeitung (DSP) in Endgeräten, Rechenzentren und der gesamten Vernetzungsinfrastruktur erforderlich sein werden. Unsere Arbeit an ADCs und DACs sorgt dafür, dass diese Teile der Kette mit den wachsenden Leistungsanforderungen Schritt halten können.

### Der Autor:



Piet Wambacq erwarb 1986 seinen M.Sc. in Elektrotechnik und 1996 seinen Dokortitel an der Katholieke Universiteit Leuven, Belgien. Im Jahr 1996 kam er zu imec, wo er derzeit als Fellow an der Entwicklung von Analog/RF/mmWave ICs in verschiedenen Technologien für drahtlose Anwendungen arbeitet. Seit 2000 ist er Professor an der Freien Universität Brüssel (VUB), Belgien. Er ist Autor oder Mitautor von sechs Büchern und mehr als 350 Veröffentlichungen in Büchern, internationalen Fachzeitschriften und Konferenzen.

Dr. Wambacq war Mitpreisträger des Best Paper Award auf der Design, Automation and Test Konferenz 2002 und 2005 sowie des EOS/ESD-Symposiums 2004, des Jan Van Vessem Award for Outstanding European Paper auf der ISSCC 2015 und des Best Paper Award auf der NEWCAS-Konferenz 2019. Von 2012 bis 2020 war er Mitglied des Programmkomitees der ISSCC und von 2016 bis 2020 Vorsitzender des Unterkomitees RF. Er war der stellvertretende Programmvorsitzende der ISSCC 2022 und ist der Programmvorsitzende der ISSCC 2023. Von 2000 bis 2007 war er Mitglied des Programmausschusses der DATE-Konferenz und von 2007 bis 2021 der ESSCIRC-Konferenz. Er war Associate Editor der IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers von 2002 bis 2004. Von 2016 bis 2018 war er Distinguished Lecturer der IEEE Solid-State Circuits Society of IEEE.

Mehr noch: In unserem Advanced RF-Programm richten wir unsere Aufmerksamkeit auf einen entscheidenden Teil der Infrastruktur: die Analogtechnologie zwischen der digitalen Hardware und den Antennen. Hier besteht eine enorme Herausforderung, da die derzeitigen Komponenten die für 6G angepeilten ultrahohen Frequenzen nicht unterstützen können. Die möglichen Gewinne sind jedoch immens: Da dieser Teil des Transceivers viel Energie verbraucht, kann eine Verbesserung der Leistungseffizienz den Gesamtenergieverbrauch erheblich beeinflussen.

Unser Forschungsansatz beruht auf der Idee der System-Technologie-Co-Optimierung: Die Herausforderungen, die wir auf der Systemebene identifizieren, lenken die Entscheidungen, die wir auf der Seite der Halbleiter-

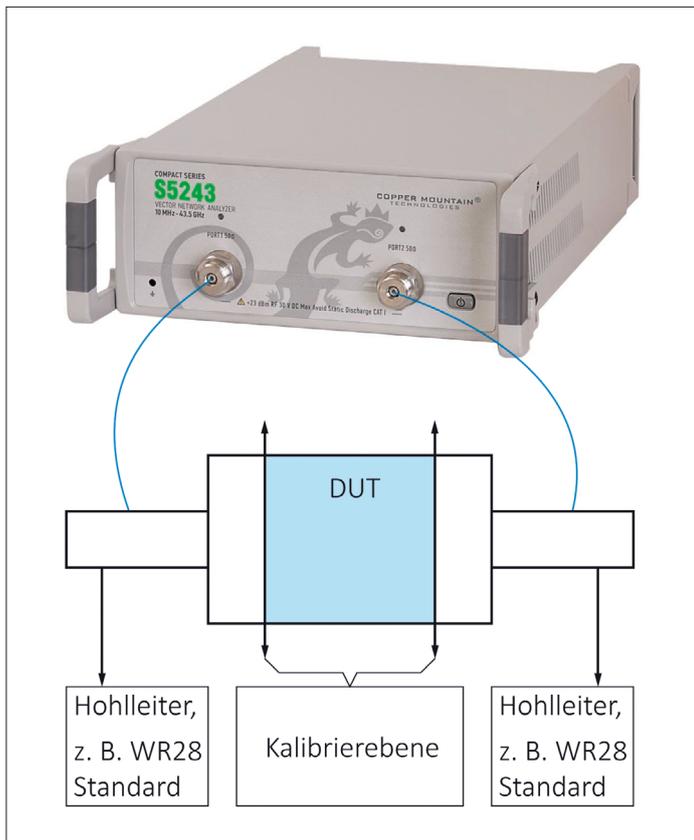
und Gehäusetechnologie treffen – und umgekehrt.

Es überrascht nicht, dass die Energieeinsparung ganz oben auf unserer Prioritätenliste steht. Das ist einer der Gründe, warum wir die Integration von Verbindungshalbleitern wie GaN und InP für den Einsatz in Komponenten wie dem Leistungsverstärker prüfen. Mit diesen Materialien lässt sich eine höhere Sendeleistung erzeugen als bei der Verwendung von Silizium, zudem mit einem höheren Wirkungsgrad. Wir suchen nach kostengünstigen Möglichkeiten, Verbindungshalbleiter mit Silizium zu kombinieren. Es ist ein umfassender heterogener Integrationsansatz erforderlich, der sowohl die aktive Elektronik, analog und digital, als auch Komponenten wie Antennen und Kühlkörper umfasst. ◀

Für Anforderungen in der 5G-Telekommunikation:

# Charakterisierung von HF-Komponenten

Dieser Artikel beschreibt die Signalübertragungsmethode zur Charakterisierung von HF-Komponenten – wie Isolatoren, Richtkoppler, Antennen usw. – für den 5G-Telekommunikationsbereich mithilfe des Copper Mountain VNAs S5243.



5G steht noch vor vielen Herausforderungen. Dazu gehören z.B. die zuverlässige Konnektivität, eine breite Palette von Bändern, die das FR1-Spektrum (4,1...7,125 GHz) sowie das K-Band (24,25 GHz) und das V-Band (44 GHz, FR2-Spektrum) abdecken, sowie die Notwendigkeit, die Prüfstände mit portablen Geräten zu optimieren. Nur so wird eine genaue Analyse von Mikrowellen-Messobjekten möglich.

### Leistungsstarke USB-VNAs

Darum hat Copper Mountain Technologies (CMT) u.a. die leistungsstarken USB-VNAs S5243 für Frequenzen bis 44 GHz auf den Markt gebracht. Sie erfüllen die erforderlichen Testanforderungen und sind hilfreich bei der Charakterisierung

von mmWave-Komponenten wie Isolatoren, Richtkopplern, Antennen usw.

Der S5243 unterstützt auch Hohlleiter-Kalibrierräte anderer Hersteller, und die Kalibrierung erfolgt nach dem TRL-Prinzip (Thru, Reflect, Line). Die Software des S5243 enthält eine vordefinierte Auswahl an weit verbreiteten Hohlleiter-Kalibrier-Kits. Darüber hinaus hat der Anwender die Möglichkeit, ein eigenes Kalibrier-Kit zu definieren, wobei eine Parameterberechnung erforderlich sein kann.

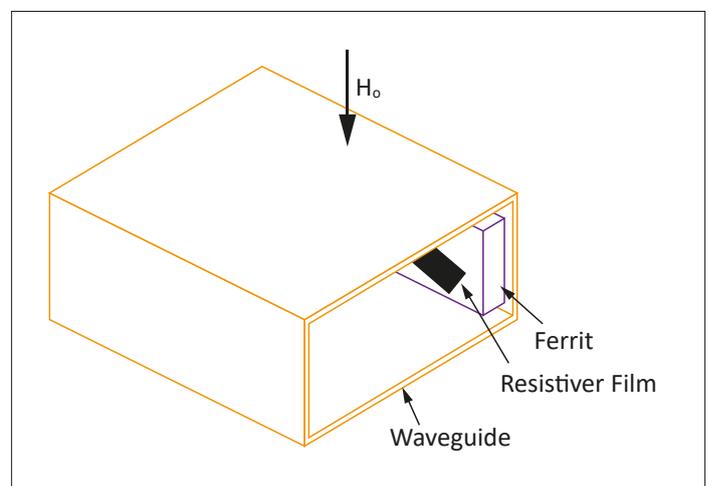
### 5G und Hohlleiter

Für eine verlustarme Übertragung werden Hohlleiter (Waveguides) statt HF-Kabeln empfohlen [1]. Denn bei Mikrowellenfrequenzen neigen HF-Kabel aufgrund der Phasendifferenz zur Ineffizienz der Signalübertragung. Bei Hochleistungsanwendungen ist die Wirkung der HF-Kabel als Sendeantenne nicht mehr zu vernachlässigen. Die nichtideale Schirmung lässt etwas Energie in den Raum entweichen. Hohlleiter werden für die Übertragung von Signalen

mit einer sehr effizienten Rate verwendet. Sie sind auch eine einfachere Alternative zu Stripline- und Koaxialtechnik beim Verbinden von Sendern und Empfängern.

Ein Standardhohlleiter [2] ist eine hohle Metallröhre oder ein Rechteck, das mit einem Ferritkern konstruiert ist, der die elektrische Induktivität an seinen Wänden und die Kapazität im Raum zwischen den Wänden verteilt, wobei es eine Vielzahl von Varianten gibt. Elektromagnetische Wellen gehen durch Ferrite mit vernachlässigbarer Dämpfung hindurch und erfahren durch die Ferrite eine Phasenverschiebung, die durch die angelegten magnetischen Gleichfelder beeinflusst werden kann. Sie werden bei HF-Anwendungen in Induktivitäten als Kernmaterial eingesetzt.

Im Gegensatz zu koaxialen Komponenten unterstützen Hohlleiter nicht den transversalen elektromagnetischen Modus der Wellenausbreitung (TEM), sondern arbeiten nach dem Prinzip der transversalen elektrischen (TE) und transver-



Wellenleiter mit Ferrit zur Demonstration der Feldverschiebung des Isolators [2]

No	Standard		Frequency		Offset					Terminal Impedance	C0	C1	C2	C3
	Type	Label	F cut off	2F cut off	Length	Z0	Loss	Media	H/W		10 <sup>-15</sup> F	10 <sup>-27</sup> F/Hz	10 <sup>-36</sup> F/Hz <sup>2</sup>	10 <sup>-45</sup> F/Hz <sup>3</sup>
1	Load	Fixed	2.576 GHz	5.152 GHz	0 m	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5	1 Ω				
2	Short	Flush Short	2.576 GHz	5.152 GHz	0 m	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5	0	0	0	0	
3	Short	1/8 Offset Short	2.576 GHz	5.152 GHz	12.032 mm	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5	0	0	0	0	
4	Short	1/4 Offset Short	2.576 GHz	5.152 GHz	24.063 mm	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5	0	0	0	0	
5	Short	3/8 Offset Short	2.576 GHz	5.152 GHz	36.095 mm	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5	0	0	0	0	
6	Thru/Delay	Thru	2.576 GHz	5.152 GHz	0 m	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5					
7	Thru/Delay	1/4 Line	2.576 GHz	5.152 GHz	24.063 mm	1 Ω	0 Ω/s	WG	0.5					
8	Sliding Load	Sliding Load	2.576 GHz	5.152 GHz		1 Ω		WG	0.5	1 Ω				

## Definieren des Kalibrierstandards im VNA

salen magnetischen (TM) Modi [1]. Der TE- und der TM-Modus haben eine begrenzte Bandbreite und können sich bei Frequenzen unterhalb einer Mindestfrequenz, die als Grenzfrequenz bezeichnet wird, nicht ausbreiten. Die Grenzfrequenz hängt von der größten Abmessung des Hohlleiters ab gemäß der Gleichung:

$$f_c = c/2a$$

Dabei ist a die größere Abmessung des Hohlleiters und c die

Lichtgeschwindigkeit. Die niedrigste und die höchste Betriebsfrequenz sind mit der Grenzfrequenz durch folgende Gleichungen verbunden:

$$f_{low} = f_c \times 1,25$$

$$f_{high} = f_c \times 1,89$$

Sobald Grenzfrequenz und Betriebsfrequenzbereich bestimmt sind, kann die Verzögerung des Offsets SHORT(Cal Kit) aus dem Datenblatt des

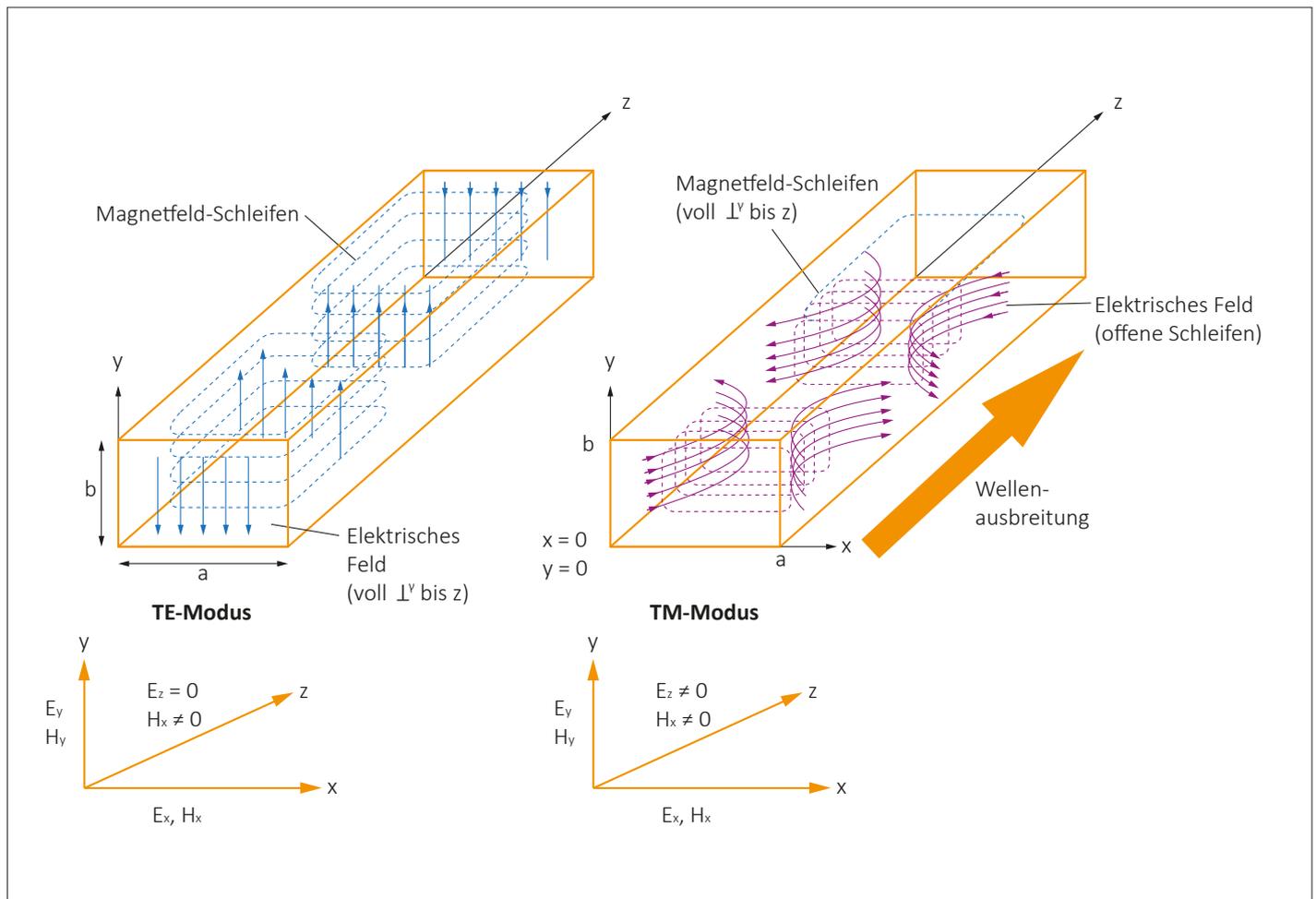
Herstellers ermittelt werden. Ein typischer Messaufbau eines Prüfings in Form eines Hohlleiters ist in der Aufmachergrafik dargestellt.

Die Analyse der Reflexionsparameter an der Eingangsklemme, z.B. S11, und der logarithmischen Polarität ist für passive Messobjekte wie Isolatoren, Richtkoppler, Filter usw. sehr wichtig. Sie zeigt, ob die Testfrequenz innerhalb oder außerhalb

der spezifizierten Grenzen liegt. Bestimmte Methoden wie z.B. das Tuning mit dielektrischem Material wie Teflon und Ferrit in den Hohlleitern helfen, die Reflexion zu reduzieren.

## Referenzen

- [1] Prakash Kumar Chaturvedi: Mikrowellen-, Radar- und HF-Technik
- [2] A. J. Baden Fuller: Ferrite bei Mikrowellenfrequenzen ◀



TE- und TM-Mode-Wellenausbreitung [1]

## Erweiterte 5G-Netzwerk-Emulationsplattform beschleunigt Design-Entwicklung

Keysight Technologies hat eine Reihe von Erweiterungen für die 5G-Netzwerk-Emulationslösung des Unternehmens bereitgestellt, die die neusten 3GPP-Rel-15/16/17-Funktionen unterstützen.



Damit können führende Chipsatz- und Gerätehersteller schnell und sicher Designs mit fortschrittlichen 5G-Funktionen für Verbraucher-, Industrie- und Behördenanwendungen entwickeln.

### Meilensteine der Branche

Im vergangenen Jahr konnten führende 5G-Chipsatzhersteller mithilfe der neuen Updates leistungsstarke, fortschrittliche 5G-Chipsätze entwickeln und verifizieren, die auf 3GPP Release 16 (Rel-16) basieren und neue Funktionen und Fähigkeiten unterstützen. Diese Chipsätze, die voraussichtlich noch 2022 auf den Markt kommen werden, wurden bereits mit der erweiterten 5G-Netzwerk-Emulationslösung von Keysight getestet und verifiziert, basierend auf der UXM 5G Wireless Test Platform des Unternehmens.

Keysight hat die erweiterte Netzwerk-Emulationsplattform genutzt, um in Zusammenarbeit mit diesen führenden Chipsatz-Herstellern mehrere 5G-Erstlingsleistungen zu realisieren. Zu den Meilensteinen der Branche gehören die erste Demonstration eines IP-Datendurchsatzes von 10 Gbit/s im Downlink im Juni 2021 und die erste Demonstration eines IP-Datendurchsatzes von 3,5 Gbit/s im Uplink im Januar 2022.

„Wir freuen uns, einem globalen 5G-Ökosystem zu ermöglichen, frühe Umsatzchancen auf dem Markt zu nutzen, indem wir Erweiterungen des Netzwerkemulationsportfolios von Keysight bereitstellen. Diese sind branchenweit erstmalig und bieten doppelt so viele Funktionen wie die ursprüngliche Lösung, die 2017 eingeführt wurde“, sagte Cao Peng, Vice President und General Manager der Keysight Wireless Test Group. „In diesem Frühjahr erleben wir die ersten kommerziellen Einrichtungen von 3GPP Rel-16 und erwarten frühe Implementierungen von Rel-17 gegen Ende des Jahres 2022. Die 5G-Testlösungen von Keysight haben und werden auch weiterhin eine zukunftssichere Testplattform für Chipsatz-Hersteller, Gerätehersteller, Mobilfunk-Netzbetreiber, Testlabore, Systemintegratoren und Anbieter von Betriebstechnologie (OT) bieten, sodass 5G-Geräte und -Netze schnell entwickelt und verifiziert werden können.“

### Erweiterungen, die überzeugen

Zu den wichtigsten Erweiterungen der Netzwerk-Emulationsplattform von Keysight gehören:

- erweiterter Frequenzbereich zur Unterstützung der FR1-Erweiterung unter 8 GHz in die neuen lizenzierten und unlizenzierten Bänder, Unterstützung hoher Zwischenfrequenzen für FR2-Tests und das neue 47-GHz-mmWave-FR2-Band n262
- flexible Nutzung der neuen HF-Ressourcen mit größerer Bandbreite für eine hervorragende EN-DC- und NR-DC-Bandkombination, die eine Onebox-Unterstützung für acht Komponententräger (CC)

in acht FDD/TDD-Bändern mit 4x4/2x2 MIMO bietet

- höhere Rechenleistung zur Unterstützung von mehr Carrier Aggregation (CA) mit >10CC und höheren Datendurchsatzraten von mehr als 10 Gbit/s End-to-End-IP für datenintensive Anwendungsfälle wie 8K-Video-Streaming
- verbesserte Uplink-Fähigkeiten zur Unterstützung von Antennenwechsel, Multi-Angle of Arrival Tests und mehr CCs für Uplink CA, um HD-Video- und Bild-Sharing sowie Livestream-Anwendungen zu ermöglichen
- neue Rel-16-Funktionen für ultrazuverlässige und latenzarme Kommunikation (Ultra Reliability & Low Latency Communication), die Geräte für die Märkte IIoT, Private Networks, Time-Sensitive Networking und Extended Reality ermöglichen
- umfassende Multi-SIM-Unterstützung einschließlich Dual-SIM Dual-Active für 5G/4G-Netzwerkombinationen

Die 5G-Netzwerk-Emulationslösung von Keysight nutzt die UXM 5G Wireless Test Platform des Unternehmens, eine integrierte und kompakte Signaltestplattform mit Multiformat-Stack-Unterstützung, hoher Verarbeitungsleistung und reichlich HF-Ressourcen, um ein 5G-Netz zu emulieren. UXM 5G unterstützt die HF-Charakterisierung, die Einhaltung von Protokollen und funktionale Leistungsanalysen sowohl im Sub-6-GHz- als auch im mmWave-Spektrum. Lösungs-Updates sind in einer Reihe von neuen Plattformkonfigurationen und Preispunkten verfügbar, die HF-Protokoll-, Funktions- und Leistungsanwendungsfälle im gesamten Geräte-Workflow unterstützen. ◀

## Keysight und Samsung unterzeichnen Absichtserklärung zur Förderung der Forschung und Entwicklung von 6G-Technologie



Keysight Technologies hat mit Samsung Research eine Absichtserklärung (Memorandum of Understanding, MoU) unterzeichnet, um die Forschung und Entwicklung im Bereich der 6G-Technologie, der nächsten Generation der drahtlosen Kommunikation, voranzutreiben.

Keysight hat sich mit Samsung zusammengetan, einem Pionier bei der Bereitstellung von

End-to-End-Lösungen für Wireless-Infrastrukturen und mobile Geräte über mehrere Generationen hinweg, um die 6G-Vision des Unternehmens von einer hypervernetzten Welt zu unterstützen. 6G soll auf Technologien wie künstlicher Intelligenz (KI), Sensorik, digitalen Zwillingen, zeitkritischen Netzwerken (TSN) und holografischer Kommunikation aufbauen. Die

beiden Unternehmen werden gemeinsam Test- und Verifizierungstechnologien für 6G Wireless-Systeme entwickeln.

Die Zusammenarbeit wird die Entwicklung von KI-gestützten Luftschnittstellen beschleunigen, welche die Massive-MIMO-Antennentechnologie (Massive Multiple Input Multiple Output) nutzen. Solche Luftschnittstellen unterstützen die Einrichtung energieeffizienter und extrem dichter Netze, die äußerst niedrige Latenzzeiten und kabellose Datenübertragungen im Terabit-Bereich ermöglichen.

Keysight verfügt über grundlegende Technologien und Schlüsselbausteine, die für die Verwirklichung von 6G unerlässlich sind. Dazu gehören die

Emulation von Netzwerken, Kanälen und Anwendergeräten (UE), mmWave- und Sub-Terahertz (THz)-Signalquellen und -Analysen sowie die Emulation von Hochgeschwindigkeits-Ethernet-Netzwerken und die Prüfung der Konnektivität von Rechenzentren. Die integrierten Software- und Hardware-Test-Tools von Keysight für die End-to-End-Konformitäts-, Interoperabilitäts-, Leistungs- und Sicherheitsvalidierung ermöglichen Samsung eine genaue und ganzheitliche Untersuchung der Margen von Designs, die für zukünftige 6G-Anwendungsfälle verwendet werden.

■ *Keysight Technologies*  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)



NEU!

NEU!

### AIRCOM® PREMIUM 15

- ideal für Antennenanlagen und Mobilfunk- und 5G-Anwendungen
- verlustarm & hochflexibel, bis 10 GHz, 50 Ohm
- sehr intermodulationsarm
- hohe Leistungsübertragung



### PROFI-PROGRAMMIER ICP2



- In vielen Konfigurationen erhältlich
- Kompakt & benutzerfreundlich
- Auch mit Secure Programming-Funktion

NEU!

### WINRADIO Software Defined Receiver



#### G69DDCe ARTEMIS

- leistungsstarker HF/VHF/UHF/SHF-Empfänger
- Frequenzbereich: 8 kHz bis 8 GHz
- Ultraschnelle Suchgeschwindigkeit 3 GHz/s
- für anspruchsvolle Anwendungen u.a. im Industrie-, Sicherheits- und Militärbereich

Sprechen Sie mit uns!  
Wir freuen uns auf Ihre Anfrage!

SSB-Electronic GmbH · Am Pulverhäuschen 4 · 59557 Lippstadt · Tel.: +49 2941-93385-0 · [vertrieb@ssb-electronic.de](mailto:vertrieb@ssb-electronic.de) · [www.ssb-electronic.de](http://www.ssb-electronic.de)

# Von der Idee bis zum Service.

HF-Technik aus einer Hand, individuell & kundenspezifisch.

- // Mechanik, Präzisionsfrästeile & Gehäuse
- // Schirmboxsysteme
- // Schalten & Verteilen von HF-Signalen
- // Mobilfunk- & EMV-Messtechnik
- // Distribution von IMS Connector Systems
- // HF-Komponenten

5G

## MTS individuelle Lösungen

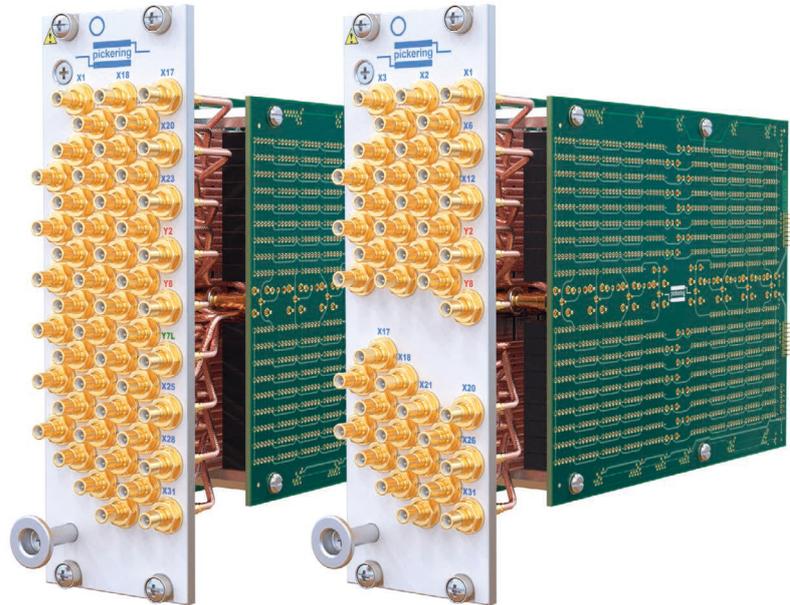
- // HF geschirmte Gehäuse
- // Schirmboxsysteme
- // Relaischaltfelder
- // Matrixsysteme
- // HF-Komponenten und Kabel
- // Gefilterte Schnittstellen

**MTS**  
Systemtechnik

mts-systemtechnik.de

## Messtechnik

### PXI & PXIe HF Matrixmodule erhöhen die Packungsdichte



Pickering Interfaces hat neue 32x8 HF Matrixmodule vorgestellt, die eine Erhöhung der Packungsdichte um 33% pro Steckplatz bedeuten. Die kompakten 40-724 PXI- und 42-724 PXIe-Module bieten eine hohe Leistung mit einer nutzbaren Bandbreite von 300 MHz für Non-Loop-Thru Varianten.

Für größere Anwendungen, die eine Matrixerweiterung erfordern, verfügen die Module über die Möglichkeit einer einfachen Erweiterung über Loop-Thru-Ports auf der Y-Achse. Um eine maximale Granularität des Testsystemaufbaus zu ermöglichen, ist die 4x-724-Familie in vier Matrixgrößen erhältlich: 16x4, 16x8, 32x4 und in der vollständig bestückten Größe 32x8. Loop-Thru Versionen sind für alle Matrixgrößen verfügbar. Die Loop-Thru-Ports sind direkt mit der Matrix verbunden, was – im Gegensatz zu anderen RF-Matrix-Produkten – die Realisierung von X-zu-X-Signalfaden zwischen Karten ermöglicht, wenn mehrere Module kaskadiert werden. Diese hilfreiche Eigenschaft erhöht die Flexibilität des Testsystems, jedoch unter Inkaufnahme reduzierter HF-Leistung.

Steven Edwards, Switching Product Manager bei Pickering Interfaces: „Die Familie baut auf der bestehenden Pickering HF-Matrixmodultechnologie auf, um die maximale Matrixgröße auf 32 x 8 für den Einsatz in 50 ? Testanwendungen zu erhöhen. Die erhöhte Dichte an Schaltelementen, die eine deutliche Steigerung gegenüber bestehenden Produkten darstellt, ermöglicht die Realisie-

rung komplexer Schaltsysteme auf nur zwei Chassis-Steckplätzen.“

Die 4x-724 HF-Matrixmodule sind mit hochwertigen Reed-Relais mit ruthenium-bedampften Kontakten bestückt und gewährleisten eine lange Lebensdauer. Außerdem weisen diese Reed-Relais gegenüber elektromechanischen Typen eine wesentlich schnellere Schaltzeit von typisch 0,5 ms auf, was die Testzeit minimiert und den Durchsatz erhöht.

Die Module sind im PXI- oder PXIe-Schnittstellenformat erhältlich und das bedeutet Flexibilität in der Chassisauswahl. Alle Versionen besitzen Industriestandard-SMB-Anschlüsse, um die Systemleistung zu maximieren und gleichzeitig den Anschluss an externe Instrumente und Prüflinge (DUT) zu vereinfachen.

Die 4x-724 HF Matrixmodule sind für allgemeine HF-Tests in vielen Anwendungen gedacht, darunter auch Notfunkgeräte und Halbleitertests. Alle Versionen des 4x-724 werden von Pickering's eBIRST-Test-Diagnosewerkzeug unterstützt, das auch für vorbeugende Wartungstests verwendet werden kann, um festzustellen, ob sich Relais dem Ende ihrer Nutzungszeit nähern. Darüber hinaus ermöglichen die eBIRST-Tools eine schnelle Fehlersuche und minimieren so die Ausfallzeiten des Systems. Pickering's Geschäftsbereich für Verbindungstechnik bietet sowohl Standard- als auch kundenspezifische Kabellösungen.

■ Pickering Interfaces  
[www.pickeringinterfaces.com](http://www.pickeringinterfaces.com)

## Neue Impedanz-, LCR-, Hipot- und Sicherheits-Tester



Neu im Sortiment der Meilhaus Electronic GmbH sind ausgewählte Produkte der Firma Tonghui. Tonghui widmet sich seit beinahe 30 Jahren der Entwicklung und Herstellung hochwertiger elektronischer Test- und Messinstrumente und bedient die Bereiche Prüfung von Halbleiterkomponenten, Prüfung anderer Komponenten wie z.B. Leiterplatten, Relais, Schaltern, Kabeln und Batterien, Prüfung von dielektrischen und magnetischen Materialeigenschaften, außerdem automatische Testsysteme zur Prüfung von Haushaltsgeräten, Transformatoren, Motoren, elektrischen Geräte, Beleuchtungsanlagen, Fahrzeugen mit neuen Energien und mehr.

Bei Meilhaus erhältlich sind ab sofort die Tonghui-Präzisions-LCR-Meter TH2840A und TH2840B, das automatische Transformatorprüfsystem der Serie TH2840X, die Impedanzanalysatoren der Serie TH2851 und die 4/8-Kanal-Hipot-Tester TH9010 und TH9010A.

Die Instrumente der Serie Tonghui TH2840 sind Präzisions-LCR-Messgeräte mit Messfrequenzen bis 500 kHz oder 2 MHz und einer Messgeschwindigkeit von 1000 mal/s (>10 kHz). Der Testpegel beträgt bis zu 20 V<sub>eff</sub> und die eingebaute Vorspannung ±40 V/±100 mA/±2 A. Typische Anwendungen sind Parametercharakterisierung und Leistungsanalyse von passiven, Halbleiter- und anderen Komponenten, Messungen von dielektrischen, magnetischen und Halbleitermaterialien sowie Flüssigkristallzellen. Die Tonghui-TH2840X-Serie sind automatische Transformatorprüfgeräte mit

Prüffrequenzen bis 500 kHz oder 2 MHz und einer Prüfgeschwindigkeit von 1000 mal/s (>10 kHz). Der Prüfpegel beträgt bis 20 V<sub>eff</sub> und die eingebaute Vorspannung ±40 V/±100 mA/±2 A. Typische Anwendungen sind Abtastprüfungen von Schalttransformatoren und umfassende Kennlinienanalysen, Abtastprüfungen von Netztransformatoren, mehrkanalige Abtastprüfungen von diskreten passiven Bauteilen (L, R, C) und mehr.

Die Geräte der Tonghui TH2851-Serie sind hochpräzise Impedanzanalysatoren. Sie arbeiten mit Messfrequenzen von 10 Hz bis 15, 30, 50, 80 oder 130 MHz und einer Messgeschwindigkeit bis 5 ms. Sie können alle wichtigen AC- und DC-Parameter analysieren. Hauptanwendungen sind Impedanzmessungen von passiven, Halbleiter- und anderen Komponenten, dielektrischen, magnetischen und Halbleitermaterialien sowie Flüssigkristallzellen.

Die Tonghui TH9010 und TH9010A sind 8- oder 4-Kanal-Hipot- und Sicherheitstester für die Prüfung und Analyse der Spannungsfestigkeit. Sie können auf bis zu 128 Kanäle erweitert werden. Typische Anwendungen sind automatisierte Testsysteme, Prüfungen an Haushaltsgeräten, Transformatoren, Motoren, elektrische Geräte, in der Beleuchtungsindustrie, an Fahrzeugen mit neuer Energie, elektronischen Komponenten und medizinischen Geräten.

■ Meilhaus Electronic GmbH  
www.meilhaus.com

## Ihr Partner für EMV und HF

Messtechnik-Systeme-Komponenten

### EMV-MESSTECHNIK

Absorberräume, GTEM-Zellen  
Stromzangen, Feldsonden  
Störsimulatoren & ESD  
Leistungsverstärker  
Messempfänger  
Laborsoftware



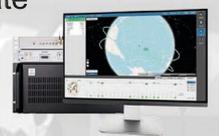
### ANTENNEN-MESSTECHNIK

Positionierer & Stative  
Wireless-Testsysteme  
Antennenmessplätze  
Antennen  
Absorber  
Software



### HF- & MIKROWELLEN-MESSTECHNIK

Puls- & Signalgeneratoren  
GNSS - Simulation  
Netzwerkanalysatoren  
Leistungsmessköpfe  
Avionik - Prüfgeräte  
Funkmessplätze



### HF-KOMPONENTEN

Abschlusswiderstände  
Adapter & HF-Kabel  
Dämpfungsglieder  
RF-over-Fiber  
Richtkoppler  
Kalibrierkits  
Verstärker  
Hohlleiter  
Schalter



## Keysight Technologies und Analog Devices zeigen neuste O-RAN-Technologie



Keysight Technologies hat eine Absichtserklärung mit Analog Devices unterzeichnet, die gemeinsame Präsentationen von Open Radio Access Network (O-RAN-) Technologie auf wichtigen Branchenveranstaltungen vorsieht.

So hat Analog Devices auf dem Mobile World Congress 2022 mithilfe von Keysight Open Radio Architect (KORA) Lösungen die Leistungsfähigkeit

eines O-RAN-Radio-Unit-Referenz-Designs vorgestellt.

Dieses bietet Entwicklern eine getestete Plattform, die das neue RadioVerse SOC von Analog Devices und ein Intel Agilex FPGA mit dem 7.2x Split Low PHY-Basisband von Analog Devices umfasst. Es ermöglicht die Entwicklung von Hochleistungs-Mehrkanal-O-RUs mit einer optimierten Anzahl von Komponenten.

### Umfassende Suite

Keysight bietet eine umfassende Suite von O-RAN-Lösungen, die von der frühen Pre-Silizium-Entwicklung bis zur Systemintegration reichen und Testanforderungen vom Rand des RAN bis zum Kern des Netzwerks erfüllen. Kürzlich arbeiteten Analog Devices und Keysight zusammen, um die Interoperabilität und Konformität der 3,5-GHz-5G-O-RU-Plattform von ADI

auf der von der O-RAN Alliance organisierten Veranstaltung Global Plugfest 2021 zu überprüfen.

Im Juni 2021 initiierten Keysight und Analog Devices eine Zusammenarbeit, um die Entwicklung von O-RAN-Lösungen zu beschleunigen und den Übergang zu offenen, disaggregierten und virtualisierten Funknetzarchitekturen zu erleichtern. Analog Devices nutzt mehrere KORA-Lösungen, darunter Open RAN Studio und DuSIM. Open RAN Studio bietet Testfunktionen für Hochfrequenz- und Protokollmessungen, um eine vollständige O-RU-Testumgebung für die Leistungs-, Interoperabilitäts- und Konformitätsvalidierung zu schaffen, die die Einhaltung der 3GPP- und O-RAN-Spezifikationen gewährleistet. DuSIM ermöglicht Analog Devices die Validierung der Funktionalität, Leistung und Konformität einer Zentraleinheit mithilfe von Emulationsfunktionen für Embedded-Anwendergeräte. ◀

■ *Keysight Technologies*  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

## Simulation und Test von 5G-Anwendungen beschleunigt

Anritsu Corporation und dSPACE, zwei führende Unternehmen in den Bereichen Testen und Messen sowie Simulation und Validierung, demonstrieren zum Mobile World Congress 2022 (MWC) gemeinsam die Integration von PC-basierten Simulationssystemen mit sensorrealistischer Simulation in einem 5G-Netzwerkemulator. Gezeigt wurde, wie Kollisionen von Fahrzeugen mit Objekten oder Personen, die sich in nicht einsehbaren Kreuzungsbereichen befinden, vermieden werden können.

Konkreter Anwendungsfall ist das so Advanced Intersection Collision Warning (AICW). Dazu werden durch den Einsatz von 5G-Kommunikationstechnologie sensorgestützte Informationen zwischen



den Fahrzeugen und der Infrastruktur im Kreuzungsbereich ausgetauscht. In der Demonstration werden von Kamerasensoren gesammelte V2X-Daten und Videodaten bereitgestellt und ausgewertet, um vor Personen oder Objekten (Vulnerable Road User, VRU) zu warnen, die sich in nicht einsehbaren Bereichen, wie toten Winkeln, an einer Kreuzung befinden.

Konkret wird die 5G-Network-Slicing-Technologie eingesetzt, um eine separate URLLC-Verbindung für die Bereitstellung von V2X-Gefahrenwarndaten und eine eMBB-Verbindung für die gemeinsame Nutzung von HD-Videos aufzubauen.

Um eine 5G-Network-Slicing-Testumgebung für Automotive V2X Use Cases bereitzustellen, nutzt der Showcase eine Anritsu MT8000A Radio Communication Test Station und dSPACE VEOS (eine PC-basierte Simulationsplattform) mit der dSPACE Lösung Aurelion für die sensorrealistische Simulation.

■ *Anritsu Corporation*  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

# Flexible Messkammern für anspruchsvollen Messaufgaben



gleitende Messungen, zur Funktionsprüfung von Produkten oder auch für Messungen in der Qualitätssicherung. Je nach Einsatzzweck sind die Kammern für Frequenzen zwischen 100 kHz und 110 GHz einsetzbar und erreichen eine durchschnittliche Schirmdämpfung von 60 bis 80 dB. Ausgestattet werden die Messkammern, je nach Anforderung, mit unterschiedlichsten Absorbieren für eine reflexionsfreie Umgebung. Darüber hinaus haben sie eine durchgängige Schirmung für störungsfreie Messungen, aber auch die Möglichkeit der vollautomatisierten Prüflingsbestückung ist gegeben. Durchführungfilter zur Zu- bzw. Abführung von Signalen und zusätzliche Ausstattungen wie Antennen, Verstärker, zusätzliche Messtechnik, mehrachsige Positioniersysteme, Prüflingsaufnahmen und weiteren Komponenten sind verfügbar.

■ Telemeter Electronic GmbH  
[info@telemeter.de](mailto:info@telemeter.de)  
[www.telemeter.info](http://www.telemeter.info)

Anspruchsvolle Messaufgaben in den verschiedensten Bereichen erfordern eine definierte und störungsfreie Umgebung für aussagekräftige Messergebnisse. Das Messkammerkonzept von Telemeter Electronic bietet Kunden eine flexible und stets an die jeweiligen

Anforderungen angepasste Messlösung – von einfachen Messboxen bis hin zu vollautomatisierten Messkonzepten. Diese Messkammerlösungen finden einen breiten Einsatzbereich, wie z.B. in Laboren für anspruchsvolle Messaufgaben, als Hilfsmittel für entwicklungsbe-

## Wir haben die stärksten Marken. Und beraten unabhängig.



Eine so große Markenvielfalt finden Sie nur bei dataTec.



Jetzt entdecken unter:  
[>>> www.datatec.eu/marken](http://www.datatec.eu/marken)

# Multifunktionalität trifft auf hohe Qualität



Das Flaggschiff-Oszilloskop MSO8000 von Rigol

Die Hochleistungs-Digitaloszilloskop-Familie MSO8000 von Rigol besticht nicht nur durch Vielseitigkeit und hohe Qualität. Seit seiner Einführung wurde die Funktionalität des Gerätes noch einmal deutlich verbessert, um den Einsatz und die Bedienbarkeit noch angenehmer und vielseitiger zu gestalten. Die Serie MSO8000 ist Teil des UltraVision-II-Oszilloskop-Portfolios, das ebenfalls den selbstentwickelten ASIC-Chipset enthält. Durch die hausinterne logistische Optimierung bei Rigol Europa kann das Gerät auch schnell innerhalb einer Woche geliefert werden.

Mit Standardbandbreiten von 600 MHz, 1 und 2 GHz (für zwei Kanäle) sowie einer maximalen Abtastrate von 10 GS/s ist die MSO8000-Serie nahezu ideal geeignet für die schnelle Signalerfassung und -analyse. Zu den typischen Anwendungen gehören automatisierte Tests in Fabriken, Protokollanalysen für serielle Busse in der Fahrzeugelektronik, Messen elektronischer Schaltungen, Schaltleistungsmessungen und -analysen im Leistungsbereich und mehr.

Die Geräteserie hat mit der letzten offiziellen Firmware-Version einiges an Verbesserungen und Funktionen hinzugewonnen. Bei der Nutzung des Web-Controls wurde die Bildschirm-Aktua-

lisierungsrate erhöht, was die Anzeige und die Bedienung noch einfacher gestaltet. Um zum Beispiel den Zonentrigger zu erstellen, kann man das dafür notwendige Feld jetzt einfach mit der Maus über Web-Control definieren.

Zusätzlich hat Rigol für das 10,1-Zoll-Farb-Touchdisplay den Treiber überarbeitet, was die tägliche Bedienung noch angenehmer macht. Gleichzeitig wurde die Anzeigequalität der Signalspur im XY-Mode deutlich optimiert. Um die Übersicht bei der Messung zu verbessern hat Rigol die mathematische Anwendung so umgesetzt, dass der hierfür genutzte Kanal ausgeschaltet werden kann, damit nur noch der mathematische Trace (z.B. die FFT mit bis zu 1 Mio. Abtastwerten) auf dem Bildschirm sichtbar ist. Die bereits schon vielfältigen Decoding-Möglichkeiten wurden in dieser Geräteserie zusätzlich um das CAN-FD-Decoding erweitert.

Für die Erfassung und Verarbeitung großer Datenmengen steht eine Speichertiefe von 500 Mpts (Standard) zur Verfügung. Mit der Verwendung der Aufnahme-funktion kann man diesen Speicher per Segmentierung auf 900 Mpts (z.B. 9 Frames mit je 100 Mpts) erhöhen oder bei der Einstellung eines kleinen Speichers die Aufnahme und Wiedergabe

von Signalen mit bis zu 450.000 Frames erreichen.

Die Instrumente verfügen über die integrierte Messmethode mit Echtzeit-Augendiagramm und Jitter-Analyse-Software, wobei die Darstellung des Jitter-Trends speziell in Kombination mit dem Histogramm für die digitale Analyse hervorzuheben ist.

Vielfältige Trigger-, Mathematik- und Darstellmöglichkeiten (Masken-Test und Power-Analyse) sowie eine integrierte Signalsuchfunktion sind wie alle üblichen Seriellebus-Protokollanalyse- und Triggerfunktionen erhältlich. Integriertes Voltmeter, Frequenzzähler und ein optionaler 2-kanaliger arbiträrer Funktions-generator runden den kompletten Messumfang dieses X-in-1-Geräts ab. Auch verschiedene Schnittstellen wie USB-Host, USB-Device, HDMI, LAN, USB-GPIB (Adapter) und AUX OUT sind verfügbar.

Rigol bietet diese komplett ausstattbaren Oszilloskope nach seiner Ansicht zum besten Preis/Leistungs-Verhältnis an und mit der bekannten 3-Jahre-Rigol-Garantie. Ein umfangreiches Zubehörprogramm von aktiven und passiven Tastköpfen, Hochspannungstastköpfen und 19-Zoll-Einbaurahmen, Software-Treibern für bekannte Pakete und Hochsprachen sowie die kostenlose UltraScope-Bedien-Software stehen ebenfalls zur Verfügung. ◀



MSO8000-Serie mit großer Zubehöerauswahl, z.B. der 2.5-GHz Probe PVA7250

## Ferngesteuerter Echtzeitanalysator



tionen der Langzeit-Frequenzüberwachung im Außenbereich.

Der Signal Shark Outdoor besitzt die Schutzklasse IP65 und kommt ohne Lüftungsschlitze und aktive Kühlung aus, da die wetterfeste Außenhülle aus Aluminium-Druckguss gleichzeitig als hermetische Abdichtung und als passiver Kühlkörper für den integrierten W10-Rechner und die Instrumente dient.

Seine Betriebstemperatur ist mit -20 bis 55 °C angegeben. Der SignalShark ist als PoE- und als Standalone-Modell via LTE Modem verfügbar. Er besitzt außerdem eine offene Plattform für 3rd Party Software (z.B. für AOA und TDOA Anwendungen). Umschaltbare Antenneneingänge und ein GNSS-Empfänger sind ebenfalls integriert. Telemeter Electronic vertreibt zudem noch optionale automatische DF-Antennen.

■ Telemeter Electronic GmbH  
[info@telemeter.de](mailto:info@telemeter.de)  
[www.telemeter.info](http://www.telemeter.info)

Nach Handheld- und Remote-Unit schließt der neue Realtime-Outdoor-Remote-Analyser SignalShark Outdoor jetzt die letzte noch verbliebene Lücke in punkto Anwendungen. Denn der extrem robuste, ferngesteuerte Signalanalysator eignet sich nahezu perfekt für 24/7-Monitoring-Aufgaben im Außenbereich – auch bei schwierigen Wit-

terungsverhältnissen. Auch dann erkennt und analysiert, klassifiziert und lokalisiert die SignalShark Outdoor Unit HF-Signale zwischen 8 kHz und 8 GHz. Mit seiner Echtzeitbandbreite von 40 MHz entgeht ihm kein noch so kurzes oder seltenes Signalereignis. Damit ist er in vielerlei Hinsicht die perfekte Messeinheit für alle Applika-

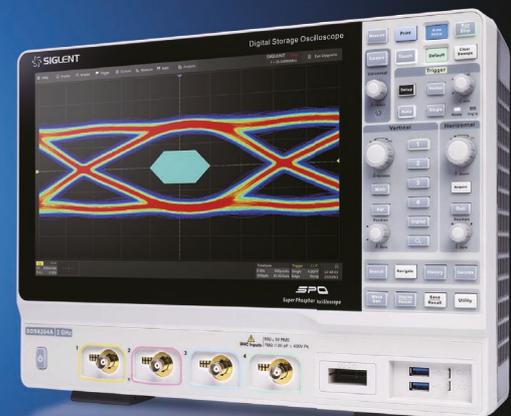
## Unser Beitrag zu Ihrem erfolgreichen HF-Entwicklungsprojekt



Vektornetzwerk-analysatoren



Arbiträr und HF-Signal Generatoren



Digital Oszilloskope

## 800G-Testlösung für Validierung der Konformität von Schnittstellen mit 112 Gbit/s



Keysight Technologies hat die neue Scienlab-SL1302A-Software vorgestellt, mit der Erstausrüster (OEMs), vor allem in China, Interoperabilitätstests für Ladestationen für Elektrofahrzeuge (EVSE) auf der Grundlage des Standards GB/T 34657.1 durchführen können.

Die Software SL1302A von Keysight unterstützt die Ladetestlösung Scienlab Charging Discovery System (CDS) des Unternehmens. Diese bietet ganzheitliche Tests von AC- und DC-Ladeschnittstellen in Elektrofahrzeugen (EV) und

EVSE. Das modulare Design ermöglicht es den Kunden, das CDS so zu konfigurieren, dass es ihren spezifischen Anforderungen entspricht. Mit dieser einzigen Lösung entfällt die Notwendigkeit, mehrere Elektrofahrzeug-/EVSE-Tests zu erwerben, wodurch die Markteinführungszeit und die Kosten reduziert werden.

Keysight bietet umfassende Testfallbibliotheken, die die Standards für Ladekonformität und Interoperabilität erfüllen. Jede Bibliothek wird gemäß den offiziellen Spezifikationen ent-

wickelt und sorgfältig mit den Konfigurationen der Ladetest-Hardware und der Software-Version verifiziert. Mit der neuen Testfall-Software Keysight SL1302A können Kunden Interoperabilitätstests auf der Grundlage der Norm GB/T 34657.1 durchführen.

Das Scienlab SL1302A von Keysight schließt die Lücke der EVSE-Interoperabilitätstests für den GB/T-Ladestandard und bietet die folgenden Vorteile:

- automatisierte EVSE-Interoperabilitätstests für den Ladestandard GB/T
- umfassende Abdeckung von Interoperabilitäts- und Konformitätstests
- automatisiertes Testen von Testfällen im Vergleich zur Implementierung unter Berücksichtigung von Gut- und Fehlerfällen

„Zusätzlich zu der jüngsten Software-Version, die sich auf GB/T EVSE-Interoperabilitätstests

konzentriert, hat Keysight auch das Portfolio der verisco GmbH mit Sitz in Dortmund, Deutschland, aufgenommen. Dadurch können wir unser Angebot an Lösungen für das Laden von Elektrofahrzeugen erheblich erweitern“, sagte Thomas Götzl, Vice President und General Manager für den Geschäftsbereich Automotive & Energy Solutions von Keysight. „Die verisco GmbH hat zu den internationalen Standardisierungsgemeinschaften in ISO und IEC beigetragen und offene Testplattformen wie das International ISO 15118 Testing Symposium und die CharIN Festivals unterstützt. Daher wollen wir unsere Bemühungen fortsetzen, die internationale Standardisierung von Ladetechnik und Interoperabilität voranzutreiben, die auf dem einzigartigen Anwendungswissen basieren, das das Team der verisco GmbH zu Keysight gebracht hat.“

■ *Keysight Technologies*  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

## Laser-Vibrometrie: Entwicklungswerkzeug für die Mobilfunktechnik

Polytec beantwortet die zunehmend steigenden Anforderungen an die rückwirkungsfreie Messung mechanischer Schwingungen bei sehr hohen Frequenzen mit dem neuen MSA-600-S Micro System Analyzer. Das ab jetzt kommerziell verfügbare optische Schwingungsmesssystem verfügt über die derzeit größte Frequenzbandbreite am Markt und ist ein wichtiges Entwicklungswerkzeug für die Mobilfunkindustrie. Die bekannten Eigenschaften der MSA-Plattform, wie leichte Bedienbarkeit, Zuverlässigkeit und Präzision, stehen dem Mestechner nun auch für Frequenzen bis 6 GHz zur Verfügung.

Weitere Fortschritt in der Mobilkommunikation, z.B. im Rahmen des 5G Standards und darüber hinaus, werden durch die Öffnung



höherer Frequenzbänder und die Neuaufteilung der Bänder ermöglicht. Dies führt zu einem Bedarf an neuen Komponenten, die strengere Anforderungen an eine möglichst geringe Einfügungsdämpfung, eine größere Bandbreite und eine steilere Unterdrückung

von Störungen außerhalb des Frequenzbandes erfüllen müssen. Gleichzeitig sollen sie einen kleineren Platzbedarf bei geringeren Kosten gewährleisten.

Auch wenn viele Technologien für die Filterung erprobt wurden, liegt die Zukunft in der kontinu-

ierlichen Innovation der aktuellen mikroakustischen SAW-, BAW- und FBAR-Filtertechnologien. Physikalisch werden hier die Propagationseigenschaften elastischer Wellen im piezoelektrischen Material der Bauelemente für die gewünschten Filtereigenschaften ausgenutzt.

Ein wichtiger Entwicklungsschritt für die Bewertung neuartiger Designs ist dabei die Messung der mechanischen Schwingungen an der Bauteiloberfläche, die in diesem Frequenzbereich nur optisch und damit berührungslos erfolgen kann. Das neue MSA-600-S ist hierfür die nahezu ideale messtechnische Lösung.

■ *Polytec*  
[www.polytec.de](http://www.polytec.de)

# VNA-Kalibrierung in wenigen Sekunden



Der PicoVNA-108 ist ein Vektor-Netzwerkanalysator bis 8,5 GHz. Er zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit und Geschwindigkeit aus und ist dabei als modulares PC-Gerät für USB sehr kompakt, portabel, robust und auch für kleinere Unternehmen und Entwicklungsbüros erschwinglich. Mit dem E-Cal Kit stellt Pico nun ein automatisiertes SOLT-Kalibrier-Kit für diesen VNA vor. Im direkten Vergleich mit einer manuellen Kalibrierung bieten die E-Cal-Kits erstaunlich gute Werte, die einer manuellen Kalibrierung für viele Anwendungen annähernd ebenbürtig sind.

Stromversorgung, Steuerung und Datenauslesung werden bequem von der PicoVNA-Software über die USB-Schnittstelle verwaltet. Dadurch kann der Kalibrierprozess in der Praxis extrem beschleunigt und vereinfacht werden. Um zusätzliche „Gender-Changer“ zu vermeiden, ist das Kit wahlweise mit SMA-Buchsen, SMA-Steckern oder als Paket mit beiden Modellen erhältlich. Die Bandbreite der Kits beträgt 300 kHz bis

8,5 GHz. In wenigen Sekunden erwärmen sich die Module selbst auf Betriebstemperatur.

## Anwender von VNAs

wissen, wie wichtig eine gewissenhafte Systemkalibrierung für die Genauigkeit und Aussagekraft einer VNA-Messung ist. Schließlich kann selbst ein Kabel, ein Adapter oder ein einfacher „Gender-Changer“ (Stecker-Buchse-Umsetzer) schon das Messergebnis verfälschen. Bei einer VNA-Messung interessiert den Anwender jedoch nur, was sein Prüfling aus einem Testsignal macht, nicht aber der Einfluss solcher zusätzlichen Kabel und Adapter. Allerdings wissen VNA-Anwender auch, wie aufwändig eine solche Kalibrierung sein kann, zumal sie vor jeder Messung durchgeführt werden muss – selbst wenn nur eine kleine Veränderung am Messaufbau vorgenommen wurde. Um das VNA-System zunächst ohne den Prüfling zu kalibrieren, sind verschiedene Verfahren möglich. Am gängigsten ist wohl die SOLT-Kalibrierung. S steht dabei für Short/Kurzschluss, O

für Open/Leerlauf, L für Load/Last und T für Thru/Durchgang. Dank SOLT-Kalibrierkits können VNAs ihre Messungen auf ein bekanntes Standardnetzwerke (also Kurzschluss, Leerlauf, bekannte Last und Durchgang) beziehen. Sie müssen einen großen dynamischen Bereich von Amplitude und Phase (oder Verzögerungszeit) aufweisen, sodass Messungen zwischen den gegebenen Extremen kalibriert werden können. Üblicherweise bestehen SOLT-Kalibrier-Kits aus je einem Adapter für diese Fälle (Kurzschluss, Leerlauf, Last, Durchgang). Beim Kalibrier-Vorgang müssen im optimalen Fall alle Varianten an den Ein- und Ausgangsports durchkalibriert werden.

Dieser manuelle Kalibrierungsprozess umfasst also mehrere An- und Abkopplungsvorgänge und ein manuelles Laden von einzelnen Datendateien für jeden Standard. Eine elegantere Möglichkeit sind automatisierte Kalibrier-Kits. Bei ihnen sind in einem einzigen Modul intern alle „SOLT-Varianten“ programmgesteuert umschaltbar, zum Beispiel über USB. Mit solchen automatisierten Kalibrier-Kits kann also der Kalibrierprozess auf nur eine Verbindung reduziert werden.

Der Prozess wird automatisch und in hohem Maße wiederholbar. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass natürlich die internen Schalter solcher automatischen Kalibriervorrichtungen selbst wieder einen Einfluss auf die Messung nehmen können. Daher ist die Qualität der Kits und ihrer Schalter entscheidend. Die E-Cal-SOLT-Kits von Pico sind automatische Kalibrier-Kits für den PicoVNA-108. Sie haben zwei Ports, eine Bandbreite von 300 kHz bis 8,5 GHz und eine Impedanz von 50 Ohm. Weitere Spezifikationen sind: Richtschärfe 40 dB, Quellenanpassung 40 dB, Lastanpassung 6 dB, Reflexionsnachführung 0,05 dB und Transmissionsnachführung 0,04 dB. ◀

# Neue Funktionen für breitbandige, mobile Signalanalyse



**Die einzigartige Kombination aus SignalShark, Nardas robustem und gleichzeitig hochempfindlichen Realtime Receiver und Go2Monitor-Software definiert den Stand der Technik**

Narda Safety Test Solutions hat das Einsatzspektrum seines SignalShark um Funktionen für die breitbandige, mobile Signalüberwachung und Echtzeitanalyse erweitert. Im Vorfeld stand die Entscheidung des HF-Messtechnikspezialisten, mit Proctec, dem Branchenprimus für software-basierte Signalverarbeitung, zu kooperieren. Ziel der deutsch-deutschen Technologiepartnerschaft war die Schaffung eines perfekten mobilen Überwachungs- und Echtzeitanalyse-systems für drahtlose Kommunikationssignale zu Lande, zu Wasser und in der Luft.

Die einzigartige Kombination aus dem SignalShark, Nardas robustem und gleichzeitig hochempfindlichen Realtime Receiver, und der integrierten go2Monitor-Software defi-

*Narda Safety Test Solutions  
GmbH  
www.narda-sts.com*



**SignalShark Rack-mounted Remote Unit, Handheld und Outdoor Unit (v.l.n.r.)**

niert den Stand der Technik mobiler automatischer Funksignalüberwachungs- und -auswerteeinheiten. Branchenübergreifend genügen sie bereits heute höchsten Ansprüchen von morgen.

## Das Beste aus zwei Welten vereint

Durch die Kooperation erhält der leistungsfähige SignalShark, begünstigt durch seine Open-Plattform-Konzeption, Zugang zu allen State-of-the-Art-Signalanalyse-Tools eines der international führenden Software-Entwickler im Bereich Signalverarbeitung. Die schlagkräftige Kombination verbindet als universell einsetzbares Monitoring-Tool das Beste aus zwei Welten. So aufgerüstet meistert der SignalShark verlässlich Tag für Tag die vielen komplexen Herausforderungen von Regulierungsbehörden und Mobilnetzbetreibern, aber auch BOS-Einsatzkräften wie der Polizei, des Grenzschutzes und nicht zuletzt des Militärs.

Der SignalShark, der vollautomatisch ITU-kompatible Messungen von Funksignalen bis 8 GHz realisieren kann, ist mit seiner Echtzeitbandbreite von 40 MHz in der Lage, breitbandig Signale kompletter Dienste lückenlos zu erfassen. Diese schickt er in Form von VITA49-kompatiblen IQ-Streams je nach Anwendung, stationär oder mobil, an einen externen PC oder über localhost intern an die Proctec-Application auf dem Receiver. Die go2Monitor-Software ist dabei sowohl auf dem externen Rechner als auch dem SignalShark installiert. In beiden Fällen können die Signale zuverlässig und sicher in Echtzeit klassifiziert, demoduliert, decodiert und für spätere Analysen aufgezeichnet werden.

## Funksignale breitbandig erfassen und aufschlüsseln

In der Messpraxis werden dabei die Signale sämtlicher Dienste innerhalb eines Frequenzbandes kontinuierlich breitbandig überwacht und in Gänze erfasst. Je

nach Auftrag sind das neben Mobilfunkdiensten zum Beispiel Tetra, Tetrapol oder Apco25. Zur selben Zeit ermittelt die Analyse-Software mit Parametern wie Modem, Bandbreite und Symbolrate automatisch nähere Informationen, die anschaulich auf dem Display des SignalShark respektive externen PC angezeigt werden. Erforderliche Decoder können mit Hilfe von verschiedenen Decoder-Paketen über Lizenzen eingebunden werden, sodass der Anwender schlussendlich jedes Signal problemlos dekodieren kann.

## Perfekte Überwachungseinheiten

Portabel, leicht, kompakt und robust: Beim Aufbau mobiler, flexibler und lückenloser Überwachungseinheiten kommen Anwendern die jeweiligen Vorzüge der einzelnen Baureihen der SignalShark-Familie zugute. Dabei tragen alle drei, Handheld, Rack-mounted Remote Unit und Outdoor Unit, dieselben guten Gene und besitzen dieselben hervorragenden HF-Eigenschaften wie Empfindlichkeit, Echtzeit-Bandbreite, Performance und Dynamik. Sie liefern immer und ohne Einschränkungen – Stichwort Skalierbarkeit – bei mobilen Einsätzen im Feld, im Labor sowie bei Langzeit-Outdoor-Einsätzen unter extremen Umgebungsbedingungen verlässliche und stabile Ergebnisse.

Dieser immense Vorteil, den sich etwa Militärs oder Grenzschützer bei großangelegten Überwachungseinsätzen gern zunutze machen, fußt auf dem einheitlichen Interface. Das bedeutet, dass Nutzer mithilfe des SignalShark und eines externen PC unabhängig von jeglichen Umgebungs- oder Einsatzbedingungen überall in der Lage sind, perfekte Überwachungssysteme zu realisieren, deren einheitliche Ergebnisse immer in demselben Format vorliegen. ◀

# QUARZE, OSZILLATOREN & MEHR

## PRODUKTE AB LAGER ODER MIT KURZEN LIEFERZEITEN

**Viele unserer Produkte sind am Lager vorrätig, oder können mit kurzen Lieferzeiten versandt werden!**

- + SMD-Quarz im 3.2x1.5mm/2pads Gehäuse 32.768 kHz  $\pm 20$ ppm -40/+85°C mit 6.0, 7.0, 9.0 und 12.5pF Lastkapazität
- + SMD-Quarz im 2.0x1.2mm/2pads Gehäuse 32.768 kHz  $\pm 20$ ppm -40/+85°C mit 9.0 und 12.5pF Lastkapazität
- + SMD-Quarz im 1.6x1.0mm/2pads Gehäuse 32.768 kHz  $\pm 20$ ppm -40/+85°C mit 6.0, 7.0, 9.0 und 12.5pF Lastkapazität
- + SMD-Quarz im 3.2x2.5mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 2.5x2.0mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 2.0x1.6mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 6.0x3.5mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 6.0x3.5mm/2pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 5.0x3.2mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 7.0x5.0mm/4pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarz im 7.0x5.0mm/2pad Gehäuse MHz Frequenzen – auch Automotive nach Spezifikation
- + SMD-Quarzoszillator 2.5x2.0mm/4pad MHz Frequenzen – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C
- + SMD-Quarzoszillator 2.5x2.0mm/4pad 32.768 kHz – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C
- + SMD-Quarzoszillator 3.2x2.5mm/4pad MHz Frequenzen – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C
- + SMD-Quarzoszillator 3.2x2.5mm/4pad 32.768 kHz – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C
- + SMD-Quarzoszillator 5.0x3.2mm/4pad MHz Frequenzen – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C
- + SMD-Quarzoszillator 7.0x5.0mm/4pad MHz Frequenzen – 1.8 ~ 3.3VDC  $\pm 25$ ppm ~  $\pm 100$ ppm bis -40/+125°C M

**Kontaktieren Sie uns und planen Sie Ihre Bedarfe  
zu verlässlichen Lieferterminen mit uns.**



PETERMANN-TECHNIK GmbH  
Lechwiesenstr. 13  
86899 Landsberg am Lech  
Deutschland – Germany

Tel +49 (0) 8191 – 30 53 95  
Fax +49 (0) 8191 – 30 53 97  
info@petermann-technik.de

**WWW.PETERMANN-TECHNIK.DE**



# Vielfältiges Kongress- und Messeangebot stimmt auf die Sommerausgabe der EMV ein



Mit der nächsten EMV-Veranstaltung, die vom 12. bis 14. Juli 2022 zum ersten Mal in Köln stattfinden wird, steigt die Vorfreude in der Community. Die Anmeldung für den Kongress und die Workshops sowie die Messe ist ab sofort möglich.

## Vielschichtiges Kongress- und Workshop-Programm

Wie immer können sich die Teilnehmer auf ein umfangreiches und vielschichtiges Kongress- und Workshop-Programm mit englischen oder deutschen Beiträgen einstellen. Die Veranstaltung wartet mit internationalen Referenten auf, die ihr Wissen u.a. zu folgenden Themen vermitteln werden:

- Störfestigkeit
- Leistungselektronik
- Normung
- Risikoanalyse
- Akkreditierung
- aktive Filterung
- EMV- und Funkanlagenrecht
- Messtechnik

- EMV und funktionale Sicherheit
- Störaussendungsmessungen und -probleme

## Young Professionals

profitieren zudem von den allseits beliebten Workshops zu EMV-Grundlagen, während Kongress-Sessions wie etwa „EMV-Analyse im Resonanzbereich“ oder „HV und Elektrofahrzeug“ insbesondere für Spezialisten interessant sein könnten. Erstmals werden auch englischsprachige Kongresspräsentationen angeboten, um das Wissens- und Kontaktangebot für Teilnehmer zu vergrößern.

## Spannende Keynote am Dienstagnachmittag

„Das 100-m Radioteleskop in Effelsberg – ein astronomisches Instrument der Spitzenklasse in der Eifel“: Herr Dr. Kraus vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie wird in der diesjährigen Keynote über das 100-m-Radioteleskop in Effelsberg, eines der leistungsstärksten radioastrono-

mischen Instrumente weltweit, berichten. Im Rahmen des Vortrags wird Herr Dr. Kraus auf die Pläne zur weiteren Verbesserung des Observatoriums und die Schwierigkeiten aufgrund von Störungen durch andere Funkdienste eingehen. Der Besuch der Keynote, die am 12.7. um 13:30 Uhr, stattfindet, ist im Ticket für Besucher der Fachmesse und der Workshops bzw. des Kongresses inkludiert.

Bekannte Firmen aber auch Neulinge sind dieses Mal an Bord: Fachbesucher können sich auf einen lebendigen Austausch mit Ausstellern sowie Exponate zum Anfassen und Erleben freuen. Zahlreiche Unternehmen haben sich bereits angemeldet, um ihr Produkt- und Dienstleistungsportfolio vorzustellen, so:

- Ametek CTS Europe GmbH
- EMCO Elektronik GmbH
- Gauss Instruments International GmbH
- Phoenix Testlab GmbH
- Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Messebesucher können auch neue Kontakte zu folgenden Firmen schließen, die erstmals auf der EMV-Messe vertreten sind:

- Amber Precision Instruments
- Biconex GmbH
- dataTec AG
- Element Materials Technology Ltd.
- Schaeffler Engineering GmbH

Die vollständige Ausstellerliste ist unter [www.e-emv.com/ausstellerliste](http://www.e-emv.com/ausstellerliste) verfügbar. Tickets für die Fachmesse können auf [www.e-emv.com/tickets](http://www.e-emv.com/tickets) bestellt werden. Der Zutritt zur Fachmesse ist im Ticket für Kongress- und Workshop-Besucher inbegriffen. Workshop- und Kongress-Teilnehmer profitieren noch bis zum 14.6. von Frühbucheinheiten; die Registrierung ist unter [www.e-emv.com/kongress](http://www.e-emv.com/kongress) möglich. ◀

High-End Produkte vom Technologieführer.

Seit über 70 Jahren

„Made in Germany“

### Für ADAS: Kleiner Differential-Output Crystal Oscillator



Der japanische Oszillatorspezialist KDS erweitert seine bereits hervorragende Oszillatorenreihe Arkh.3G um die 5G-fähige Serie Arkh.5G. Damit bieten die Japaner nun noch mehr Möglichkeiten in ADAS-Applikationen für den Automotive-Sektor. Die beiden Serien zeichnen sich insbesondere durch die unglaublich kompakte Bauform aus! Die KDS-Oszillatoren benötigen keinen zusätzlichen Keramikverbau und verzichten auch auf den Einsatz von leitfähigen Klebstoffen. Im Ergebnis verbessert sich durch diese Vorgehensweise der Alterungsprozess und damit auch Ihre Applikation.

■ CompoTEK GmbH  
[www.compotek.de](http://www.compotek.de)

### TCXOs für IoT und GPS



Kleinere TCXOs werden in vielen verschiedenen Applikationen ein- und manchmal sogar vorausgesetzt. Allerdings verbinden sich mit deren kompakter Form auch Nachteile. Während der Quarz-Rohling in entsprechend kleinen Größen produziert werden kann, führt die Integration der Schaltkreise dazu, dass dabei Alterungsleistung und Stabilität darunter leiden.

Um diese technische Herausforderung bewältigen zu können, präsentierte Suntsu seine neuen H-Type-TCXO-Gehäuse. Suntsu trennt hierfür den Quarz-Rohling vom Schaltkreis, wodurch der Quarz in einer einzelnen Aussparung eingekapselt werden kann. Diese Trennung hilft dabei, die Belastung abzubauen, die sich beim Alterungsprozess von Quarzen ergibt.

Dadurch verbessern sich bei diesen kleineren H-Type-TCXO-Gehäusen die langfristigen Alterungsleistungsdaten mit einer Frequenzstabilität von  $\pm 5$  ppm für zehn Jahre.

Die neuen STH-Serien von Suntsu eignen sich insbesondere für Applikationen in IoT, LoRa und GPS. Außerdem sind sie auch bestens geeignet für mobiles Kommunikations-Equipment, WLAN-Anwendungen oder auch Wearables. Wie Sie die neuen TCXOs von Suntsu in Ihrer Applikation einsetzen, erfahren Sie bei CompoTEK.

### Key Features der neuen TCXOs von Suntsu:

- frequency stability down to  $\pm 0.5$  ppm over  $-30 \sim 85$  °C
- frequency stability vs. aging 10 years of  $\pm 0.5$  ppm
- supply voltages of 1.8, 2.5 and 3.3 V
- 19.2, 26, 32 and 38.4 MHz are available
- clipped sinewave output
- improved long-term aging performance
- analog compensation
- $1.6 \times 1.2$ ,  $2 \times 1.6$  and  $2.5 \times 2$  mm packages are available

■ CompoTEK GmbH  
[www.compotek.de](http://www.compotek.de)

### Freilaufender Dielectric-Resonance Oscillator



Der Narda-Miteq LCDRO ist ein freilaufender DRO (Dielectric-Resonance Oscillator), der in vielen Mikrowellenradar- und Kommunikationsanwendungen für kommerzielle und militärische Zwecke eingesetzt wird. Der LCDRO ist bemerkenswert stabil. In vielen Fällen ersetzt er jeden Festfrequenz-Testsynthesizer oder Generator. Die Narda-Miteq-LCDRO-Serie ist extrem leistungsstark mit einer Ausgangsleistung von 13 dBm und sehr energieeffizient bei einem Gleichstromverbrauch von weniger als 120 mA. Die robuste Konstruktion vom LCDRO ermöglicht den Betrieb unter sehr rauen Umgebungsbedingungen.

■ Globes Elektronik GmbH & Co KG  
[www.globes.de](http://www.globes.de)



Quartz Crystal Technology GmbH

Waibstadter Strasse 2 - 4  
74924 Neckarbischofsheim

Telefon: +49 7263 648-0

Fax: +49 7263 6196

Email: [info@kvg-gmbh.de](mailto:info@kvg-gmbh.de)

[www.kvg-gmbh.de](http://www.kvg-gmbh.de)

## Zukunftskompatible Vernetzung industrieller Funkapplikationen



Bei der Auswahl der passenden Funklösung müssen Entwickler viele Anforderungen und Faktoren berücksichtigen. Neben Funktechnologie, Einsatzort, Bauform und Größe der Bauteile sowie Stromaufnahme empfiehlt sich die Prüfung, wie zukunftssicher die ausgewählten Bauteile sind. Gerade in den Bereichen Funktechnologie und IoT hat sich der Stand der Technik in den letzten fünf Jahren rasant weiterentwickelt. Lange war für

M2M-Anwendungen 2G- und 3G- Mobilfunktechnik gut geeignet – mittlerweile werden diese Mobilfunknetze bereits wieder abgeschaltet und durch 4G- und 5G-Mobilfunk abgelöst.

### Der Common Flexible Formfaktor

Der Hersteller Sierra Wireless (Vertrieb: Glyn) hat für diese Herausforderung seinen Common Flexible Formfaktor (CF3)

entwickelt. Dieser ist aktuell für Mobilfunktechnologien von 2G bis 4G sowie LPWA verfügbar. Dank des skalierbaren Formfaktorkonzepts ist es möglich, bestehende Anwendungen für neue Funktechnologien und Einsatzbereiche anzupassen, indem einfach das passende Funkmodul eingesetzt wird. Hierzu wurden zwei Footprints für Funkmodule definiert: Large mit 22 x 23 mm sowie Medium mit 15 x 18 mm Baugröße.

Auf beiden Baugrößen sind Kontakt-Pads mit gleichem Footprint und Pin-Belegung als sogenannter Ring C vorhanden. Alle für die Funktion notwendigen Signale, wie Spannungsversorgung, SIM-Karte, Antennenanschluss, UART, USB und wichtige Steuersignale, sind auf diesem Ring belegt. Diese sind für alle Module einheitlich definiert. Auf den Large-Modulen gibt es zusätzliche Kontakt-Pads im Ring D. Hier sind weitere optionale Funktionen belegt.

Den CF3-Formfaktor gibt es bei Sierra Wireless in Large-Bauform als RC-Serie in 4G

LTE Ausführung mit Qualcomm-Chipsatz sowie als WP-Serie mit ARM Cortex R7 Processor mit Embedded Linux. In der Medium-Ausführung als HL78 Serie für Low-Power Wide-Area mit LTE-M- und NB-IoT-Anwendungen.

### Flexibel in der Entwicklung

Grundsätzlich sind die Module im CF3-Formfaktor für eine direkte Lötmontage auf der Leiterplatte in der Serienproduktion vorgesehen. Für die Entwicklung und Tests bietet Sierra Wireless einen Snap-in-Sockel an, in den die Module gesetzt werden können, je nach Einsatzzweck Module mit oder ohne integrierten Prozessor.

Der Hersteller plant, alle künftigen Mobilfunklösungen im CF3-Formfaktorkonzept anzubieten. So bleiben dem Entwickler aufwändige Redesigns der Hardware erspart, die bei einem Bauteilwechsel in der Regel anstehen.

■ Glyn Jones GmbH  
www.glyn.de

## 2,4-GHz-Funkeinheiten für Fernsteuerung und Überwachung



Circuit Design brachte die High/Low-Level-Status-eingangseinheit KST2.4S und die Ausgangseinheit KSR2.4 für industrielle Anwendungen auf den Markt. Beide enthalten das Funkmodul NK-2.4Y, das die FCC-Zertifizierung in USA und die japanische Funkzulassung erhalten hat. In den Einheiten sind das Funkmodul, ein Output-Photo-MOSFET und LEDs zur Kommunikationsüberwachung enthalten. Dies erleich-

tert die Entwicklung von Funksystemen für den Start/Stop von Antriebsanlagen und die Überwachung von High/Low-Pegeländerungen.

Die Funkeinheiten arbeiten mit einem selbst entwickelten Frequenzsprungverfahren. Das ermöglicht die gleichzeitige Überwachung mehrerer Systeme in einem Gebiet ohne Kanalmanagement. Außerdem bietet die Einheit eine Hamming-Distanz von 6, was eine zuverlässige Kommunikation gewährleistet. Die Link LED auf dem Überwachungsmonitor zeigt jederzeit den Verbindungsstatus der Funkeinheit an.

Der spezielle Kabelbaum bietet eine Schnittstelle für die Stromversorgung, sechs Eingänge

oder sechs Ausgänge und den Monitorausgang der Funkverbindung. Die Ausgabereinheit KSR2.4 kann mit dem Photo-MOSFET-Ausgang Lasten bis zu 35 V DC/200 mA ansteuern. High-Level- oder Low-Level-Eingang/Ausgang sind beide möglich.

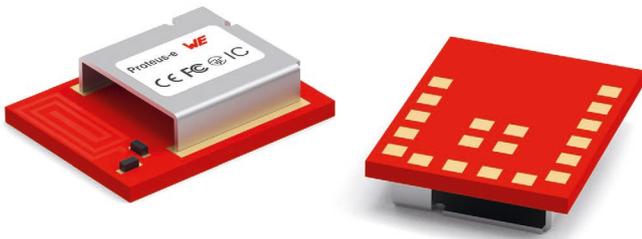
### Technische Eigenschaften:

- zu FCC Part 15/ARIB STD-T66 konformes Modul NK-2.4Y integriert
- 2,4-GHz/bidirektionale Kommunikation im Frequenzsprungverfahren (nur 1:1-Kommunikation)
- sechs Eingänge (KST2.4S), sechs Ausgänge (KSR2.4)

- zuverlässige Funkkommunikation: Hamming Distanz 6, CRC-16-Fehlererkennung
- 100 m Kommunikationsreichweite bei freier Sicht
- drei Ausgangsmodi zur Auswahl (Oneshot, Toggle, Momentary)
- Betriebsspannung: 6...24 V
- Stromaufnahme: 30 mA max. (KST2.4S), 80 mA max. (KRS2.4), alle Photo-MOS Relais on, ohne Last
- Betriebstemperaturbereich: -20 bis +60 °C
- Abmessungen: 55 x 45 x 12,5 mm (sowohl KST2.4S als auch KSR2.4, ohne Überstände)

■ Circuit Design GmbH  
www.circuitdesign.de

# Schlankes Bluetooth-Low-Energy-Funkmodul



Mit dem neuen Proteus-e-Funkmodul setzt Würth Elektronik seine erfolgreiche Proteus-Bluetooth-LE-Reihe fort. Der Fokus beim Proteus-e liegt auf Basisfunktionalität, um so preissensitive Applikationen adressieren zu können. Das Funkmodul basiert auf dem Bluetooth-LE-5.1-Standard und beinhaltet Konformitätsnachweise für CE, FCC, IC sowie Telec.

Trotz der integrierten Antenne ist das Proteus-e nur 7 x 9 x 2 mm groß und damit nochmals ein Drittel kleiner als das Proteus-III-Modul. Für proprietäre Anwendungen mit eigener Firmware-Entwicklung wird das Modul unter dem Namen Ophelial angeboten, das heißt, hierbei handelt es sich um reine Hardware. Proteuse und Ophelial

basieren auf den Nordic-Semiconductor-Chipsatz nRF52805, der einen 64 MHz Arm Cortex-M4 Prozessor, 192 kB Flash Memory und 24 kB RAM beinhaltet. Die maximale Ausgangsleistung beträgt 4 dBm, die maximale Datenrate 2 Mbps. Im Energiesparmodus benötigt das für mobile Anwendungen entwickelte Modul nur 0,3 µA.

Beim Proteus-e können Connection Timing, Advertising Packets und Timing, Beacons und UART frei konfiguriert werden. Würth Elektronik bietet ein Evaluierungsboard zur einfachen Inbetriebnahme und zum Testen an. Mit seiner Hilfe und einem SDK kann man das Modul zur Anwendungsentwicklung mit Mikrocontrollern verbinden. Würth Elektronik leistet Unter-

stützung beim Design-in und bietet auf Anfrage Firmware-Entwicklungsdienstleistungen an. Die Funkmodule sind ab sofort ohne Mindestbestellmenge ab Lager verfügbar.

■ Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG  
www.we-online.com

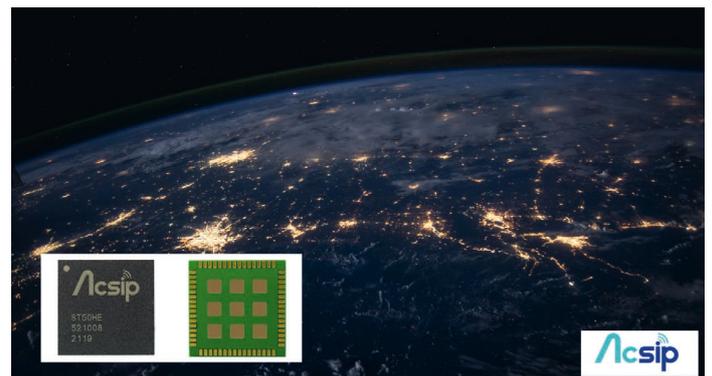
## Für IoT + Smart Metering: preissenstives LoRa-Modul mit Sigfox-Support

Vor kurzem hat tekmodul das neue LoRa und Sigfox Modul (mit Ultra-Narrowband-Modulation) AI50H von AcSiP präsentiert, das durch seine enorme Leistung überzeugt. Das noch kleinere ST50HE (12 x 12 x 1,2

mm) ist eine preislich sehr attraktive Alternative mit dennoch sehr ähnlichem Leistungsniveau. Zwar erreicht das ST50HE eine etwas geringere Ausgangsleistung (14 dBm) als das AI50H, ist aber durch seine geringeren Maße und dem geringen Stromverbrauch attraktiver. Dazu kommen sehr geringe Störanfälligkeit und der leistungsstarke Arm Cortex-M4.

Der verbaute Sub-GHz-Transceiver auf Semtech-SX126x-Basis und die 256-KB-Flash-Speicher sowie 64 KB RAM runden das Gesamtpaket des ST50HE sehr gut ab.

■ tekmodul GmbH  
www.tekmodul.de



# LPWA-Modul für kritische Kommunikation im 450-MHz-Band

Kritische Longrange-Kommunikation entwickelt sich immer mehr zu einem sehr wichtigen Sektor – gerade mit Blick auf sichere, belastbare Netzwerke, die unter anderem in der Energieversorgung notwendig sind. SCADA- und IoT-Applikationen oder Smart Metering benötigen zuverlässige Technologie, um jederzeit beste Ergebnisse liefern zu können. Das brandneue LTE-LPWA-Modul BG95-M9 von Quectel wurde speziell für Netzwerke im 450-MHz-Spektrum (B31/B72/B73) entwickelt und bringt Anwendern die nötige Sicherheit in „mission-critical“ Einsätzen. Dank der zusätzlichen Abdeckung

BG95-M9 LTE 450/410MHz Funkmodul für long-range Kommunikation



des 410-MHz-Bereichs (B87/B88) ist das Modul auch nahezu perfekt für Longrange Anwendungen in Dänemark, Norwegen, Irland und UK geeignet. Weitere Pluspunkte: viele Funk-

tionen und hohe Sendeleistung. Viele Standardprotokolle und Schnittstellen und nicht zuletzt die zahlreichen Sicherheitsfunktionen (bspw. Cortex A7 TrustZone Engine) machen das Cat

M1/NB2 Funkmodul zu einem zuverlässigen wie sicheren Partner in Tracking oder Smart Metering Anwendungen.

Auch Wireless Point-of-Sale Applikationen sind ideale Aufgabengebiete für das BG95-M9 von Quectel. Und 70% weniger Stromverbrauch im PSM-Modus und bis zu 85% im eDRX-Modus (Vergleich Vorgängermodell) zeigen den signifikanten Fortschritt des kompakten (23,6 x 19,9 x 2,2 mm) LPWA-Moduls.

■ tekmodul GmbH  
www.tekmodul.de

Die größte Auswahl an  
**HF-Verstärkern**  
ab Lager lieferbar von



- Frequenzen DC bis 87 GHz
- Verstärkung von 10 bis 60 dB
- P1dB von 2 mW bis 100 Watt
- Rauschzahl ab 0,8 dB



**Aktive HF-Produkte von Pasternack**

- LNAs und Leistungsverstärker
- variable PIN-Diodenabschwächer
- USB-kontrollierte Abschwächer
- Frequenzteiler, -Vervielfacher
- PIN-Dioden-Limiter
- HF-Leistungs-Detektoren
- koaxiale Mikrowellenmischer
- kalibrierte Rauschquellen
- koaxiale 1- bis 12-fach Schalter
- abstimmbare SMD-Oszillatoren
- USB-kontrollierte Synthesizer

MRC GIGACOMP GmbH & Co. KG  
info@mrc-gigacomp.de  
www.mrc-gigacomp.de  
Tel. +49 89 4161599-40, Fax -45



## Bauelemente

### Koaxialverstärker mit 71 bis 86 GHz Einsatzbereich



Das Modell ZVA-71863HP+ von Mini-Circuits ist ein Koaxialverstärker mit 38 dB typischer Verstärkung und 24 dBm typischer gesättigter Ausgangsleistung für Signale im Bereich von 71 bis 86 GHz. Er wird mit einer einzigen Versorgungsspannung von 10 bis 15 V DC betrieben und nimmt 490 mA bei 10 V auf. Der Verstärker eignet sich gut für 5G-Netzwerke, Kfz-Radar, Satellitenkommunikation (Satcom) und mmWave-Testsysteme. Er verfügt über eine interne Schaltung zum Schutz vor Schäden durch DC-Überspannung und Rückspannung. Er ist mit 1-mm-Koaxialbuchsen ausgestattet.

### Frequenzerweiterung von 10 MHz bis 30 GHz



Das Modell FX-30G-RC von Mini-Circuits ist ein „Frequenzverlängerer“ mit Pufferverstärker, der Ausgangssignale von 10 MHz bis 30 GHz mit Pegeln bis zu 20 dBm und einer Genauigkeit von  $\pm 1$  dB bei der Ausgangsleistung liefert. Er bildet eine nahtlose Schnittstelle mit dem 15-GHz-Signalgenerator SSG-15G-RC und erweitert dessen Frequenzbereich auf 30 GHz, während gleichzeitig niedrige Oberwellen von -40 dBc und Störsignale von -70 dBc beibehalten werden. Er wird einfach über eine Ethernet- oder USB-Verbindung zu

einem externen Computer mit FX-Software gesteuert.

### Intelligenter Sensor misst Leistung bis 40 GHz



Das Modell PWR-40PW-RC von Mini-Circuits ist ein fortschrittlicher Leistungssensor, der Spitzen- und Durchschnittsleistung von -20 bis +20 dBm über Frequenzen von 500 MHz bis 40 GHz messen kann. Die 10-MHz-Modulationsbandbreite und die Abtastrate von 20 Millionen Samples/s unterstützen die Leistungsmessung komplexer Modulationsformate, während die 30-MHz-Videobandbreite Leistungsmessungen von ALC-Schaltungen (Automatic Level Control) ermöglicht. Der Leistungssensor, der über eine vollständige Softwareunterstützung verfügt, kann über Ethernet oder einen USB-Anschluss an einen externen Computer angeschlossen werden.

### Leistungsverstärker für Signale mit 2 bis 2,4 GHz



Der Class-AB-Verstärker ZHL2G02G4125+ von Mini-Circuits liefert eine typische gesättigte Ausgangsleistung von 51 dBm (125 W) im Bereich von 2 bis 2,4 GHz. Er erreicht eine typische Leistungsverstärkung von 51 dB mit einer Verstärkungsflachheit von  $\pm 1$  dB. Der

RoHS-konforme Verstärker ist bedingungslos stabil und verbraucht 16 A bei 28 V DC. Er ist nahezu ideal für Kommunikations- und Testsysteme geeignet, verfügt über einen internen Schutz gegen Verpolung und Überhitzung und misst  $110 \times 70 \times 30$  mm mit SMA-Eingangsanschluss und Typ-N-Ausgangsanschluss.

### Schaltmatrix offeriert Kanäle mit 40 GHz Bandbreite



Das Modell RC-8SPDT-A40 von Mini-Circuits ist eine mmWave-Schaltmatrix mit geringen Verlusten und hoher Isolation von DC bis 40 GHz. Die 50-Ohm-Matrix besteht aus acht elektromechanischen SPDT-Schaltern (Single-Pole, Double-Throw) und hat eine typische Einfügedämpfung von 0,3 dB bis 26 GHz und 0,6 dB bis 40 GHz sowie eine typische Isolation von 75 dB bis 26 GHz und 65 dB bis 40 GHz. Sie ist für 2 Millionen Schaltvorgänge ausgelegt und kann 5 W Kalt-schaltleistung mit 2,92-mm-Buchsen an allen Anschlüssen verarbeiten. Das SMT-LTCC-Filter überträgt im Bereich 37 bis 40 GHz

Das Modell BFCQ-3852A+ von Mini-Circuits ist ein 50-Ohm-LTCC-Bandpassfilter mit einem Durchlassbereich von 37 bis 40 GHz. Es wurde für das 5G n260-Band entwickelt und hat eine typische Einfügedämpfung von 2,9 dB im Durchlassbereich. Die untere Sperrband-Unterdrückung beträgt typischerweise 45 dB oder mehr von 0,1 bis 33,2 GHz, während die obere Sperrband-Unterdrückung typischerweise 25 dB von 44,8 bis 58 GHz beträgt. Der Filter verarbeitet 1 W Eingangsleistung und ist mit einem SMT-Gehäuse von nur  $0,098 \times 0,079$  in. ( $2,5 \times 2$  mm) Größe ausgestattet.

## Bauelemente

### Koax-Bandpassfilter vermeidet Reflexionen außerhalb von 20 GHz



Das Modell ZXBF-K24+ von Mini-Circuits ist ein koaxiales Bandpassfilter mit einer typischen Einfügungsdämpfung von 5,8 dB im Durchlassbereich von 19,5 bis 20,5 GHz. Es ist im unteren und oberen Sperrband auf 50 Ohm abgestimmt, um Reflexionen zu eliminieren, und erreicht eine typische untere Sperrband-Unterdrückung von 51 dB von DC bis 10 GHz und eine obere Sperrband-Unterdrückung von 42 dB von 30 bis 32 GHz. Das Filter eignet sich für Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Satellitenkommunikation und misst 0,68 × 0,60 × 0,39 Zoll (17,1 × 15,2 × 10 mm) mit 2,92-mm-Buchsen.

### SMT-Transformator für 20 bis 600 MHz



Der SERT4-62HP50W1+ von Mini-Circuits ist ein Hochleistungs-HF-Übertrager mit einem Sekundär/Primär-Impedanzverhältnis von 1:4 und wurde für Übergänge von 12,5 auf 50 Ohm über eine große Bandbreite von 20 bis 600 MHz entwickelt. Der RoHS-konforme Übertrager bewältigt 50 W Eingangsleistung trotz seinem oberflächenmontierten Gehäuse mit den Abmessungen von nur 0,93 × 1,22 × 0,47 Zoll (23,62 × 30,99 × 11,94 mm) mit einer geringen Einfügedämpfung von typisch 0,4 dB. Er ist ideal geeignet für mobile Militärsysteme und hat einen Betriebstemperaturbereich von -40 bis +65 °C.

■ **Mini-Circuits**  
www.minicircuits.com

### Diplexer für störungsfreie Koexistenz von TDD und FDD



Mit einem neuen Diplexer kann Spinner jetzt eine wichtige Komponente zur gleichzeitigen Nutzung von TDD und FDD im 2,6-GHz-Bereich anbieten. Die Bänder 7 und 38 lassen sich mit dem Diplexer BN 570761 störungsfrei kombinieren.

Time Division Duplex (TDD) und Frequency Division Duplex (FDD) sind zwei Mobilfunktopologien, denen zufolge Daten entweder über Zeitschlitze oder über die Frequenz auf die einzelnen Mobilfunkteilnehmer verteilt werden. Im Wesentlichen geht es dabei um die maximale Nutzung der Ressourcen der Basisstationen und gleichzeitig um die Bereitstellung der maximalen Bandbreite für die Endkunden. Für die optimale Internet-Geschwindigkeit kann also die Wahl der Topologie bzw. deren Kombination entscheidend sein.

### Für Band 7 und 38 im 2,6-GHz-Spektrum

FDD-Netze haben die Eigenschaft, dass die gegebenen Bandbreiten (5-, 10-, 15- und 20-MHz-Frequenzblöcke) auf alle aktiven Nutzer aufgeteilt werden. Damit werden die Datenraten bzw. Übertragungsgeschwindigkeiten bei steigender Nutzerzahl geringer. TDD bietet hingegen die Möglichkeit zur sogenannten unsymmetrischen Datenübertragung – mehr Download als Upload – und kann damit eine höhere Effizienz pro Frequenzband erzielen.

Die Herausforderungen von Hybridlösungen liegen in der möglichen gegenseitigen Beeinflussung der Sende- und Empfangsfrequenzen (Tx, Rx) innerhalb der definierten TDD- & FDD-Frequenzbänder, wie z.B. beim Mobile-Broadband-Standard 3GPP für Band 7 und Band 38. Das Spinner-Produkt bietet Netzbetreibern die Möglichkeit, bei 2,6 GHz solche hybriden Topologien zu realisieren.

Für Band 7 ist der Frequenzbereich für den FDD-Uplink bei 2,5...2,57 GHz, für den Downlink bei 2,62...2,69 GHz vorgesehen. Genau dazwischen liegt das TDD-Band 38 mit 2,57...2,62 GHz.

Dieses Band bietet die Chance für eine sehr breitbandige Übertragung. Doch häufig bleibt diese Chance ungenutzt, da durch

## EMV, WÄRME-ABLEITUNG UND ABSORPTION SETZEN SIE AUF QUALITÄT

### esorb

Elastomer- und Schaumstoffabsorber

- Europäische Produktion
- Kurzfristige Verfügbarkeit
- Kundenspezifisches Design oder Plattenware



### esorb-EA1 & esorb-EA4

- Frequenzbereich ab 1 GHz (EA1) bzw. 4 GHz (EA4)
- Urethan oder Silikon
- Temperaturbereich von -40°C bis 170°C (Urethanversion bis 120°C)
- Standardabmessung 305mm x 305mm



### esorb MLA

- Multilayer Breitbandabsorber
- Frequenzbereich ab 0,8GHz
- Reflectivity-Level -17db oder besser
- Temperaturbereich bis 90°C
- Standardabmessung 610mm x 610mm

Hohe Straße 3  
61231 Bad Nauheim  
T +49 (0)6032 9636-0  
F +49 (0)6032 9636-49  
info@electronic-service.de  
www.electronic-service.de

**ES** ELECTRONIC  
SERVICE GmbH

bisher eingesetzte technische Lösungen das sehr verbreitete FDD-Spektrum gestört werden kann. Der neue Spinner-Diplexer BN 570761 ist in der Lage, Band 7 (FDD) und Band 38 (TDD) störungsfrei zu kombinieren. Dabei

weist er eine typische Einfügedämpfung von weniger als 1 dB in Verbindung mit einer sehr hohen Isolation zwischen TDD und FDD auf. Mit wenigstens 60 dB gewährleistet er sowohl für das FDD- als auch das TDD- Band

geringstmögliche Störungen, bestmögliche Übertragungsqualität und damit zufriedene Kunden. Ergänzt um die guten Eigenschaften bezüglich passiver Intermodulation (PIM), bildet der Diplexer einen wichtigen Baustein, um das

Frequenzband 2,6 GHz bestmöglich zu vermarkten.

■ *Spinner GmbH*

[www.spinner-group.com/de/](http://www.spinner-group.com/de/)



## Leistungstransistoren für Massive MIMO

Eine neue Transistorfamilie soll den 5G-Ausbau vorantreiben: Mit den neuen 32T32R-Chips von NXP Semiconductors werden 5G-Funkgeräte kleiner und leichter, was den Einsatz in Ballungsräumen und Stadtrandgebieten erleichtert. Diese neue Transistorserie ergänzt das bestehende Angebot von 64T64R-Funkgeräten, die Mobilfunkbänder von 2,3 bis 4 GHz abdecken.

Was ist neu? Die neue Serie von diskreten HF-Leistungstransistoren für 32T32R-Aktivantennensysteme basiert auf der unternehmenseigenen Galliumnitrid-Technologie. Sie ergänzt das bestehende Angebot von NXP an diskreten GaN-Leistungsverstärkern für 64T64R-Funkgeräte, die Mobilfunkfrequenzbänder von 2,3 bis 4 GHz abdecken. NXP bietet damit das größte HF-GaN-Portfolio für Massive Multiple Input/Multiple Output (Massive MIMO) 5G Funkgeräte.

Was bringt das? Im Zuge des weltweiten Ausbaus von 5G-Netzen können Mobilfunknetzbetreiber 32T32R-Funkgeräte verwenden, um ihre Massive-MIMO-Abdeckung über extrem dichte Stadtgebiete hinaus in weniger dichte (Vor-)Stadtgebiete zu erweitern. Durch 32 statt 64 Antennen kann die Netzabdeckung kosteneffizienter gewährleistet werden. Gleichzeitig bleiben dank Massive MIMO die Vorteile von 5G erhalten.

Weitere Details: Die 32T32R-Lösungen von NXP liefern die doppelte Leistung im gleichen Gehäuse wie die 64T64R-Lösungen, was in einer kleineren und leichteren 5G-Gesamtlösung resultiert. Mithilfe der Pin-Kompatibilität können Netzbetreiber schnell über Frequenz- und Leistungsstufen hinweg skalieren.

„Da 5G-Lösungen weltweit beliebter werden, müssen die Netzbetreiber ihre Netzabde-

ckung verbessern und gleichzeitig die Leistung des Netzwerks sicherstellen“, sagt Jim Norling, Vice President High Power Solutions und Radio Power bei NXP. „Mit der doppelten Leistung bei gleicher Gehäusegröße ermöglicht NXP den HF-Ingenieuren die Entwicklung von kleineren und leichteren Basisstationen, die sich in städtischen und vorstädtischen Gebieten einfacher installieren lassen und sich besser ins Stadtbild einfügen.“

Die neue Serie von diskreten GaN-Lösungen ist für eine durchschnittliche Leistung von 10 W an der Antenne ausgelegt und zielt auf 320-W-Funkheiten mit einem Drain-Wirkungsgrad von bis zu 58% ab. Sie umfasst Treiber- und Endstufentransistoren und nutzt die gut linearisierbare HF-GaN-Technologie von NXP, die aus der neuen GaN-Fabrik von NXP in Arizona stammt. ◀

*NXP Semiconductors N.V.*  
[www.nxp.com](http://www.nxp.com)

## Three-Channel Rotary Joint for X-Band Radar



The latest addition to Link Microtek's extensive range of microwave rotary joints is a device featuring three X-band channels, one of which is used for transmit and the others for receive signals in radar systems for coastal/border surveillance or critical infrastructure protection. Designed and manufactured at Link Microtek's facility in Basingstoke, UK, the

new AMCORJD-3 device enables microwave signals to be fed to or from a compact radar antenna rotating continuously at in excess of 60 rpm and typically exposed to harsh environmental conditions such as wind, rain and salt spray. The design brief was particularly challenging as it had to fit in the same space as the previous two channel version. Both channels cover

the frequency range 8.5 to 9.5 GHz and can handle average microwave powers in excess of 50 W and peak powers of over 200 W. Microwave performance is excellent, with a maximum insertion loss of only 1.2 dB, maximum SWR of 1.5 and an isolation of 80 dB. In order to satisfy requirements for long life and continuous operation, this robustly constructed rotary joint uses a non-contacting design, so the only wearing parts are the bearings. It is fabricated from lightweight aluminium with a Surtec finish and incorporates

IP65 sealing to protect it from the ingress of moisture and dust. Featuring N-type connectors on the rotating side and SMA-type connectors on the fixed side, the rotary joint has overall dimensions of 84 mm (D) x 150 mm (L), excluding the connectors and bulkhead mounting flange. Other rotary-joint configurations and sizes can be supplied on request, customised to suit specific radar antenna requirements.

■ **Link Microtek**  
[sales@linkmicrotek.com](mailto:sales@linkmicrotek.com)  
[www.linkmicrotek.com](http://www.linkmicrotek.com)

### 1290...1310 MHz VCO



Crystek's VCO (Voltage Controlled Oscillator) CVCO55CC-1290-1310 operates from 1290 to 1310 MHz with a control voltage range of 0.5 to 4.5 V. This VCO features a typical phase noise of -117 dBc/Hz @ 10 kHz offset and has excellent linearity. Output power is typically 1 dBm.

Engineered and manufactured in the USA, the model CVCO55CC-1290-1310 is packaged in the industry-standard 0.5 x 0.5 in. SMD package. Input voltage is 5 V, with a max. current consumption of 36 mA. Pulling and Pushing are minimized to 0.5 MHz pk-pk and 0.5 MHz/V, respectively. Second harmonic suppression is 15 dBc typical. The CVCO55CC-1290-1310 is ideal for use in applications such as digital radio equipment, fixed wireless access, satellite communications systems, and base stations.

■ **Crystek Corporation**  
[www.crystek.com](http://www.crystek.com)

### Compatibility of LTE, WLAN and Bluetooth



EMITE and Anritsu Corporation are proud to announce their latest combined solution for testing the compatibility of different connection technologies such as LTE, WLAN and Bluetooth wireless technology. The Anritsu Wireless Connectivity Test Set MT8862A, Radio Communication Analyzer MT8821C and Bluetooth Test Set MT8852B have been integrated with the EMITE E600 Reverberation Chamber. The solution allows the testing of OTA TRP/TIS/TPUT performance in a repeatable environment. With integral communications protocols and optimized performance for testing, the EMITE reverberation chamber and Anritsu platforms can reliably characterize

the different coexistence scenarios of the latest devices.

In tests of coexistence scenarios of WLAN with LTE and Bluetooth technology, and LTE with WLAN and Bluetooth technology, the new integration has been able to measure total radiated power (TRP), total isotropic sensitivity (TIS) and physical TPUT OTA performance indicators in market devices. By providing the ability to test and implement the latest standards, EMITE and Anritsu ensure customers and service providers can deliver fully compatible solutions to the market.

■ **Anritsu Corporation**  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

## New WiFi 6E Devices



EMITE and Anritsu Corporation have added the 6 GHz band to their newly integrated testing system, allowing testing to the new IEEE 802.11ax WLAN standard. The new band adds to the already available 2.4 and 5 GHz bands. Anritsu's Wireless Connectivity Test Set MT8862A has been

integrated with the EMITE E600 Reverberation Chamber, allowing developers to test the OTA TRP/TIS performance of IEEE 802.11ax devices in a repeatable environment. Offering integrated communications protocols and optimized performance for testing, the EMITE reverberation chamber and Anritsu MT8862A provide reliable characterization of the latest Wi-Fi 6E devices on the market.

The newly integrated system can measure the total radiated power (TRP) and total isotropic sensitivity (TIS) OTA performance indicators in IEEE 802.11ax devices. With the ability to test and implement the latest standards, developers and



service providers can offer solutions to the market with total confidence in their performance.

■ *EMITE Ingenieria, S.L*  
[www.emite-ing.com](http://www.emite-ing.com)

■ *Anritsu Corporation*  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

## Signal Quality Analyzer for New Compliance Test Program



Anritsu Corporation announced that the PCI-SIG has adopted the Anritsu Signal Quality Analyzer-R MP1900A BERT to support compliance tests at PCI-SIG Workshops. The MP1900A was selected to meet the increasing demand for PCI Express (PCIe) 3.0/4.0 Link Equalization Tests (Link EQ Test) and Receiver jitter tolerance Tests (Rx Test).

Since the 2003 release of the PCIe 1.0 specification, each subsequent generation has doubled the bandwidth of the previous generation. Currently, PCIe 4.0 specification at 16 Gbps/lane is supported by the PCI-SIG Compliance Test program.

PCI Express architecture is increasing the speed of internal interfaces in high-speed PCs and storage, as well as becoming a key interface for communications equipment and servers requiring ever wider bandwidth. It is expected to see rapid deplo-

yment in markets, such as IoT, AI, and automotive, utilizing emerging technologies.

PCI-SIG hosts quarterly Compliance Workshops to certify PCIe devices. With increasing demand for PCIe equipment and to meet the test demand for increasing device under test (DUT) numbers, PCI-SIG has established a new permanent test environment, which uses equipment from qualified vendors, including the Anritsu Signal Quality Analyzer-R MP1900A.

Anritsu's Service Infrastructure Solutions Division General Manager Hiroyuki Takahashi commented, "As well as supporting the next-generation PCIe 5.0 standard, Anritsu's MP1900A series will support the PCIe 6.0 specifications now being planned. By doing so, Anritsu is helping facilitate the spread of PCI Express and contributing to development of the technology."

### Signal Quality Analyzer-R MP1900A Outline

The Signal Quality Analyzer-R MP1900A is the industry-leading multi-channel BERT. It integrates a high-quality waveform Pulse Pattern Generator (PPG) that produces 115 fs rms residual jitter, high-input-sensitivity Error Detector (ED) that creates a 15 mV eye height (typical), and a high-accuracy jitter (SJ, RJ,

SSC, BUJ) generation source. CM-I/DM-I functions are also part of the MP1900A mainframe. With a Link Training function and Link Training Status State Machine (LTSSM) analysis support, it has multiple applications, including compliance tests, margin tests, and troubleshooting.

The MP1900A provides all-in-one support of PCI Express 1.0 architecture (2.5 Gbit/s) to PCIe 5.0 architecture (32 Gbit/s) with future updates for PCI Express 6.0 architecture (64 Gbit/s). By providing all-in-one support, the MP1900A allows customers to have lower cost-of-test and a simple upgrade path. Additionally, the MP1900A is compatible with oscilloscopes from the three leading manufacturers to automate complex Rx test procedures up to PCI 5.0, with support for the future PCIe 6.0 specification.

■ *Anritsu Corporation*  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

### 5G Omni Antennas

KP Performance Antennas, an Infinite Electronics brand, introduced a new series of 3.3 to 3.8 GHz omnidirectional antennas that are ideal for 5G, LTE and CBRS applications. KP's new CBRS 5G omni antennas offer higher data speed throughput, UV-protected radomes for long-life installations, and high gain



for superior signal coverage. These high-performance outdoor omnidirectional antennas are designed for a variety of base station cellular applications where wide coverage is desired. The new colinear antennas are engineered for high reliability in extreme weather and superior coverage for rural and other difficult-to-cover areas. They feature up to four port options, gain from 3 to 13 dBi and Type-N connectors, and can be used in SISO and MIMO networks.

■ *KP Performance Antennas*  
[www.infiniteelectronics.com](http://www.infiniteelectronics.com)

### Isolator-free Sub-6GHz Line-ups for 5G and 4G

Ampleon, utilizing advanced LDMOS transistor technology, introduces the B11G3338N80D push-pull 3-stage fully integrated Doherty RF transistor being the carrier product for GEN11 Macro driver family covering

all sub-6GHz frequency bands. This highly efficient multiband device covers a frequency range from 3.3 to 3.8 GHz, enabling the implementation of next-generation high power and market-leading efficiency macro base stations.



The driver product family comes in PQFN 12 x 7 mm packages, integrating the carrier and peaking devices, input splitter, output combiner and pre-match for each section. The push-pull configuration of the devices eli-

minates the need for an interstage isolator, and the integrated pre- and post-match enables the input impedance of 50 ohms and output impedance of 25 ohms.

The level of integration in the B11G3338N80D significantly simplifies the design process, reduces BOM cost and assures reliability and volume consistency. The compact pin-to-pin compatible footprint for sub-6GHz bands minimizes the layout work, which is essential for today's space-constrained applications.

The Doherty transistors typically deliver a drain efficiency of 22% at 12 dB power back-off and power gain of 34 dB at the quoted test conditions. Additionally,

the design integrates ESD protection and bias gate switching.

■ *Ampleon Netherlands B.V.*  
[www.ampleon.com](http://www.ampleon.com)

### LDMOS Amplifier Module supports Multi-Octave Bandwidth



RFMW announced design and sales support for a high-power amplifier module from Elite RF.

The MB030512M565028 incorporates advanced, state-of-the-art LDMOS technology to deliver 350 W of saturated power from 30 to 512 MHz. Biased class AB, the amplifier provides 52 dB of gain and works in CW or pulsed mode to support applications including Electronic Warfare (EW), commercial and military radios, jammers, scientific, and laboratory use. The MB030512M565028 can be used in narrowband and multi-octave bandwidth applications and comes with an industry leading 5-year warranty.

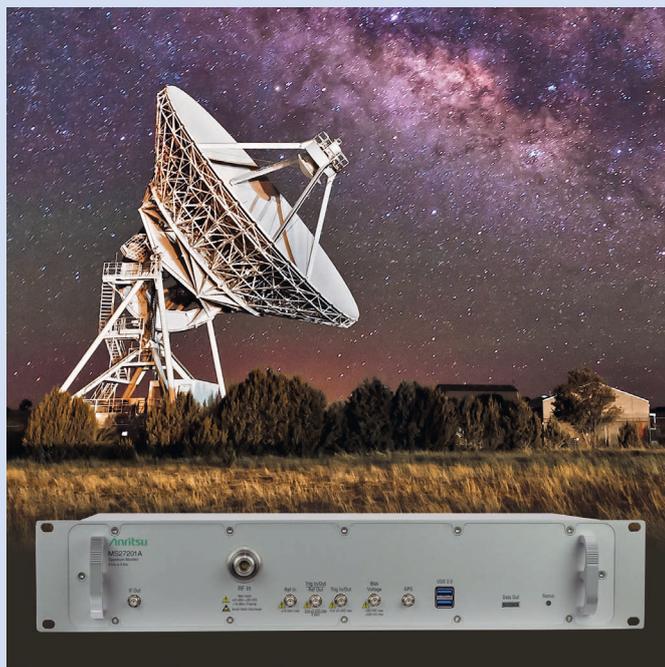
■ *RFMW*  
[www.rfmw.com](http://www.rfmw.com)

## Rack Mount Remote Spectrum Monitors up to 43.5 GHz

Anritsu Company introduces the MS27201A Remote Spectrum Monitor series that includes the industry's first remote spectrum monitor that covers 43.5 GHz to support new satellite downlink bands. Combining high RF performance with supporting PC software, the MS27201A series delivers a unique package for long-term monitoring in a variety of commercial and regulatory environments.

The MS27201A series includes 9 and 20 GHz remote spectrum monitors, in addition to the 43.5 GHz model. A wide 110 MHz measurement bandwidth to support common satellite downlink spans complements the 43.5 GHz model. With a displayed average noise level (DANL) of -164 dBm and a third-order intercept point (TOI) of typically 20 dBm, all the remote spectrum monitors assure accurate signal detection and measurement integrity.

A standard PC GUI with the familiar Anritsu spectrum analyzer interface allows users to control multiple instruments and view current spectrum from a single location. As an



alternative, Anritsu can have the remote spectrum monitors interface with the MX280001A Vision software. Common trace capture and data storage applications are included in Vision software, eliminating the need for users to develop custom software.

Anritsu also supplies an IQ capture feature that allows

users to conduct detailed offline post-processing on signals of interest. Optional LTE and 5G demodulation software further expand monitoring capability, as does VSA software that allows modulation quality measurements to be made on narrowband signals in accordance with industry standards. The MS27201A series ensure reliable, 24/7 con-

tinuous spectrum monitoring over a wide geographic area. A built-in watchdog timer resets the instrument in the event of a software interruption. Should a power disruption occur, the instrument will resume immediate operation with no user intervention required. The MS27201A spectrum monitors are standard 19-inch rack wide and 2U tall, so they can slot directly into test system racks using minimal space. The instruments are powered from a supplied 15-W power block that minimizes rack temperature gain.

The MS27201A series is targeted at the increasingly demanding requirements of spectrum owners and spectrum regulators. The remote spectrum monitors deliver stable performance in a variety of applications, including spectrum clearing, shared spectrum monitoring, satellite ground station monitoring, critical site security, interference monitoring, and regulatory enforcement.

■ *Anritsu Corporation*  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

# RFMW introduces new products

## 2-Stage Variable Gain Driver Amplifier



RFMW announced design and sales support for a variable gain amplifier (VGA) from Qorvo. The QPA1008 is a two-stage variable gain amplifier for S-band applications from 2.7 to 3.8 GHz. It includes a 30 dB analog attenuator and resistively coupled power detector at the output for circuits requiring power monitoring. <20 ns bias switching for quick turn-on/turn-off operation improves system sensitivity in commercial and military radar, communications systems and test & measurement applications.

## mmWave Transmit Beamforming IC



RFMW announced design and sales support for a beamforming IC from Renesas. The F6522 is an 8-channel transmit active beamforming RFIC designed for application in Ka-Band SatCom planar phased array antennas from 27.5 to 31 GHz. The IC has a single common RF input port and eight independently controlled output channels which can drive eight single-polarized elements or four dual-polarized elements of an electronically scanned array (ESA). Each channel has 6-bits of digital phase control covering 360° and 25 dB of gain control with a minimum step size of 0.2 dB, enabling

precise beam pattern and polarization control. Operating from a single supply of 2.1 to 2.5 V, the RFIC has 28 dB of nominal small signal gain with a typical P1dB of 11 dBm per channel. SPI bus and control pins operate from standard 1.8 V logic at speeds up to 50 MHz. Advanced digital modes and large on-chip memory allows for < 100 ns beam position switching times at the array level, greatly reducing dead time and latency.

## 8 Channel Ku/CDL Band Beamforming RFIC

RFMW announced design and sales support for a beamforming IC from Renesas. The F6513S is an 8-channel, transmit, active beamforming, RFIC designed for application in Ku-Band (14.4 to 17.3 GHz) planar phased array antennas for communications or radar applications. The IC has a single common RF input port and eight output channels. The eight independently controlled output channels can drive eight single-polarized elements or four dual-polarized elements of an electronically scanned array (ESA). Each channel has 6-bits of digital phase control covering 360° and 25 dB of gain control with a minimum step size of 0.2 dB, enabling precise beam pattern and polarization control. Operating from a single supply of 2.1...2.5 V, the F6513S has 23 dB of nominal small signal gain with a typical P1dB of 12.5 dBm per channel.

## Rugged Transistor delivers 150 W for ISM



RFMW announced design and sales support for a high-power transistor from Ampleon. The

ART150FEU, LDMOS power transistor provides 150 W of pulsed or CW RF energy for ISM applications ranging from 1 to 650 MHz. Offering up to 31 dB of gain and typical drain efficiency of >72%, this transistor supports plasma generators, MRI systems, CO<sub>2</sub> lasers and particle accelerators. High breakdown voltage enables class E operation up to 50 V<sub>DS</sub> while the ART150FEU is qualified up to a maximum V<sub>DS</sub> of 65 V. The device is characterized from 30 to 65 V. Integrated dual-sided ESD protection enables class C operation and complete switch off of the transistor. Advanced Rugged Technology (ART) is capable of withstanding load mismatches corresponding to a SWR of 65:1. Additional uses are found in radio and VHF TV broadcast transmitters as well as HF communications and Radar systems.

## 6 to 18 GHz Low-Noise Amplifier



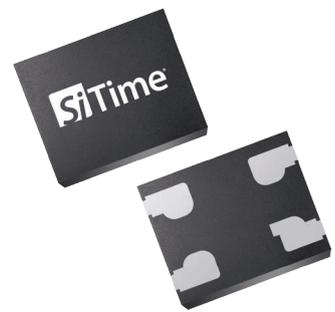
RFMW announced design and sales support for a low-noise amplifier from Qorvo. The CMD328 covers 6 to 18 GHz with over 27 dB of gain and 1.25 dB noise figure. An alternative to costly, hybrid amplifiers, this device runs from a single 3 V supply drawing 52 mA. Offered as bare die, the CMD328 is matched to 50 ohms with integrated DC blocking caps on both I/O ports for easy handling and simple system integration. It's high performance and compact size make it ideal for X and Ku-band radar, satellite and point to point communication systems or electronic warfare applications.

## 750 W GaN on SiC RF Transistor



RFMW announced design and sales support for a high power GaN transistor from Qorvo. The QPD1028L delivers >750 W of saturated power from 1.2 to 1.4 GHz for military and civilian L-Band radar systems. Efficiency at Psat is 67 to 70% with 17 to 18 dB of gain. The QPD1028L is capable of CW or pulsed operation with 65 volt bias. This input-pre-matched device is housed in an industry standard air cavity package.

## MEMS Resonators replace Crystals



RFMW announced design and sales support for SiTime MEMS resonators. SiTime XCalibur active resonators are designed to replace 4-pin SMD crystal resonators in demanding applications such as automotive, industrial, and enterprise equipment. They provide excellent stability over a wide temperature range, greater reliability, reduced BOM, and ease-of-design. With short lead times and the elimination of design issues related to quartz crystal resonators such as cold startup, EMI problems, the need for motional impedance (ESR) and negative resistance testing at every design and layout cycle, these active resonators grea-

tly reduce time-to-market. The need for parallel resonant XTAL tuning capacitors is also eliminated. And as an active device, they can drive two clock inputs, further reducing component count. Typifying performance, the SiT1408BI-11-18N-26.000000 operates at 26 MHz, with an all causes stability of 20 ppm over -40 to +85 °C in a 2.5 x 2 mm package.

## WiFi 6E Power Divider



RFMW announced design and sales support for MECA Electronics broadband power divider/combiners. The 816-2-4.250-M01 RF power divider offers 16-way, in-phase performance from 0.5 to 8 GHz. Capable of handling up to 30 W of average power with an operating temperature of -55 to +85 °C, it offers phase and amplitude balance generally seen only in narrow band models. Typical SWR's range from 1.25 to 1.6 with 17dB minimum isolation. Made in the USA, 2-way, 4-way and 8-way power divider/combiners are also available and carry MECA's industry leading 36 month manufacturing warranty. The broad band nature of these power divider/combiners eliminates the need to increase the component count in D.A.S systems when migrating to higher frequency platforms required to support 5G & WiFi6 applications.

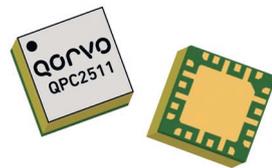
## Ultra-linear Amplifier Module



RFMW announced design and sales support for an ultra-linear,

SMA connectorized amplifier from Amplifier Solutions Corporation (ASC). The ASC3086C has an operating band of 2 to 250 MHz with typical specifications of 35 dBm P1dB, 22 dB gain, and 2.7 dB Noise Figure. Operating at 24 V in a 1 x 2 inch connected package, it has excellent linearity with very low noise figure and is unconditionally stable with optimal reliability targeting HF, VHF, or Radar communication applications that require high linearity. No external components are required.

## 30 W GaN SP3T Switch for Radar & EW



RFMW announced design and sales support for a high-power switch from Qorvo. The QPC2511 is a SP3T switch specifically designed for S- and X-band transmission linear power handling with a frequency range of 2 to 11 GHz. With wide-band capability, the receive path can operate linear up to 10 W. Typical insertion loss is only 1.5 dB and typical isolation is up to 20 dB. With <50 ns switching speed, the QPC2511 finds applications in radar and electronic warfare systems.

## High-Power Low-Voltage GaAs HBT Amplifiers



RFMW announced design and sales support for two MMIC power amplifiers from CML Microcircuits. The CMX90A003 and CMX90A004 are two-stage, fully matched MMIC power amplifiers for use in 860 to 960 MHz, license-free bands. Advanced GaAs HBT techno-

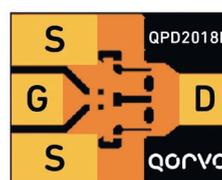
logy provides a combination of high efficiency (49% PAE) and gain (30 dB). The CMX90A003 is optimized for efficiency at low collector voltages (1.9 to 2.5 V) while delivering 29.5 dBm of saturated power, ideal as a booster PA for range extension of low-power transceivers, it's suitable for systems with super-capacitor backup storage, thus extending the discharge period or battery life. The CMX90A004 is optimized for maximum efficiency at collector voltages of 2.7 to 4.5 V and intended as a final stage amplifier with 32.5 dBm saturated output power.

## Benchtop 400 W X-Band Amplifier



RFMW announced design and sales support for a Solid State Power Amplifier (SSPA) from RF-Lambda. The REM-C08G11GE delivers up to 55 dBm of saturated power output over a range of 8 to 11 GHz with 56 dB of gain. Used in various applications ranging from Aerospace/Military, Test and Measurement, and Research/Development, the benchtop amplifier is a convenient source of high-power RF energy. Supply voltage is either 110 or 220 V AC. The REMC08G11GE EMC power amplifier is loaded with features such as automatic calibration, built-in temperature compensation and adjustable attention range of 31.5 dB with 0.5 dB step size.

## 20 GHz Discrete GaAs pHEMT Die



RFMW announced design and sales support for a discrete

180-Micron pHEMT which operates from DC to 20 GHz. The QPD2018D is designed using Qorvo's proven standard 0.25 μm power pHEMT production process. This process features advanced techniques to optimize microwave power and efficiency at high drain bias operating conditions. The QPD2018D typically provides 22 dBm of output power at P1dB with gain of 14 dB and 55% power-added efficiency at 1 dB compression making it appropriate for high efficiency applications. Bias voltage is 8 V for broadband wireless, aerospace and defense applications.

## 2.92 mm Field Replaceable Connectors accommodate Multiple Launch Pins



RFMW announced availability of a portfolio of field replaceable 2.92 mm connectors. The San-tron portfolio is comprised of field replaceable connectors capable of accepting 0.009", 0.012", and 0.020" diameter launch pins with 1/2" square, 3/8" square, or .625" 2-hole flange configurations. The connectors offer low SWR of <1.15 from DC to 18 GHz and <1.2 from 18 to 40 GHz. They feature high-performance gold-plated beryllium copper contacts, poly-etherimide (PEI) capture bead, polychlorotrifluoroethylene (PCTFE) positioning bead and rugged stainless-steel bodies. San-tron field replaceable 2.92 mm connectors fully comply with MIL-STD-348.

■ RFMW  
www.rfmw.com

## End-to-End live 5G Broadcast Streaming to Smartphones



Rohde & Schwarz and Qualcomm Technologies have joined forces to showcase 5G Broadcast with a full end-to-end live streaming demonstration at Mobile World Congress 2022. In a live demonstration delivering content to smartphone devices, and showcasing Broadcast/Multicast capabilities over 5G, content provided by Cellnex Telecom will be re-transmitted using a 5G Broadcast signal over-the-air in Barcelona, giving show attendees a firsthand look at an advanced live mobile experience.

5G Broadcast offers network operators and broadcasters opportunities to create exciting consumer experiences across a range of new and existing business areas. All of this while

enabling high spectral efficiency and reduced costs.

To bring this live demonstration together, Rohde & Schwarz provided its end-to-end 3GPP compliant solution, comprising a 5G Broadcast enabled R&S TLU9 transmitter, supported by a Spinner filter, and the Broadcast Service and Control Center (BSCC2.0) acting as a core network.

During the demonstration a live signal will be transmitted over-the-airwaves inside the Fira Gran Via in Barcelona, from the Rohde & Schwarz booth, using sectorized antenna systems supplied by Cellnex, to a smartphone form-factor test device from Qualcomm Technologies.

The 5G Broadcast solution is built on the 3GPP Rel-16 feature-set, operating in a Receive-Only Mode (ROM), Free-To-Air (FTA) and without the need for a SIM card (SIM-free reception). The 5G Broadcast dedicated mode will be demonstrated with a standalone broadcast High Power High Tower (HPHT) infrastructure while operating within the UHF band.

“This is a unique showcase of the delivery of digital TV content

over 3GPP standardized technology,” said Lorenzo Casaccia, Vice President of Technical Standards & Intellectual Property, Qualcomm Technologies, Inc. “We are proud to have collaborated with Cellnex and Rohde & Schwarz teams to bring this demo to life. Our new 5G R&D technology demonstration at Mobile World Congress proves this isn’t just possible, it’s here today on the show floor for all to experience and, perhaps most importantly, without the need for additional chipsets.”

Broadcast/Multicast over 5G is not restricted to linear and live content distribution. For network operators and media content providers it offers a completely new range of business models for delivering content or data to large numbers of consumers and without affecting the regular cellular 5G mobile network. Venue and automotive sectors are particularly suitable for new consumer applications while the high power, high tower free-to-air/no-SIM offers emergency services and national authorities more secure ways to deliver public messages during natural disasters or emergencies. ◀

Rohde & Schwarz  
GmbH & Co. KG

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)

## GaN-on-SiC HEMT of Generation 3

Ampleon announced the release of two new broadband GaN-on-SiC HEMT transistors in the power classes of 30 W CLF3H0060(S)-30, 100 W CLF3H0035(S)-100. These high-linearity devices are the initial products from our Generation 3 GaN-SiC HEMT process recently qualified and released to production.

The devices offer broadband high linearity features under low bias settings to raise the performance levels for broadband linearity (under -32 dBc third-order intermodulation products at 5 dB, and less than -42 dBc at 8 dB back-off from saturated power over a 2:1 bandwidth). Broadband linearity is vital for frequency-agile radios deployed in today’s defense electronics



for handling multi-mode communication waveforms (from FM through high-order QAM signals) with simultaneous application of countermeasure channels. These demanding applications require transistors with inherently better broadband linearity. Based on market feedback, the Ampleon Generation 3 GaN-on-SiC HEMT transistors meet these extended broadband line-

arity requirements. In addition, the Generation 3 transistors are housed in a thermally enhanced package, which enables reliable operation and offers an extremely rugged SWR withstand capability of up to 15:1 for a 30 W device. The ruggedness extends to Class A operation, common to instrumentation applications with saturated gate conditions while maintaining linearity over a wide dynamic range at extended frequency ranges. Ampleon’s Generation 3 GaN-on-SiC HEMT transistors set a new standard for high linearity GaN technology for broadband applications while maintaining excellent thermal and ruggedness features.

■ Ampleon Netherlands B.V.  
[www.ampleon.com](http://www.ampleon.com)

## Dual Active Protocol Stack Handover for 5G

MediaTek and Anritsu Corporation announced that the first DAPS handover for 5G New Radio (NR) has been verified with a device containing the MediaTek M80 5G modem and Anritsu's MT8000A Radio Communication Test Station with Rapid Test Designer (RTD) application software. The 5G NR standard is evolving beyond the traditional Enhanced Mobile Broadband (eMBB) to support use cases for Ultra Reliable Low Latency Communication (URLLC). URLLC targets latency of 1ms or lower and reliability of over 99.999%, and these targets must be maintained during handover of mobile terminals across cells. The current Handover procedures have a Handover Interruption Time (HIT) of 30 to 60 ms during which a mobile terminal cannot transmit or receive user data. DAPS handover has been introduced in 3GPP Release 16 to



shorten the HIT to as close to zero ms as possible. DAPS allows a mobile terminal to receive and transmit data simultaneously to source and target cells in a handover ensuring seamless data continuity.

The Radio Communication Test Station MT8000A is an all-in-one platform supporting RF and protocol testing, functional and application operation testing, beam characteristics testing and more. As well as

supporting both NSA and SA-mode base-station simulation functions required for development of 5G chipsets and terminals, it also covers FR1 frequency bands, including 0.6, 2.5, 3.5, 4.5 and 6-GHz unlicensed bands, as well as the FR2 24, 28, 39 and 43-GHz mmWave bands, to support all the main bands used by 5G services. Additionally, MT8000A supports the functions required for high-speed communications, such as 4x4 MIMO in FR1, 8CC and 256QAM in FR2 as well as supporting the latest 3GPP Release 16 features. Furthermore, the MT8000A provides a versatile and efficient test environment that is easily configured using a simple user interface and software to test device performance.

■ Anritsu Corporation  
[www.anritsu.com](http://www.anritsu.com)

## 5G RRM FR2 2xAoA Conformance Tests



The PTCRB certification organization has approved the first radio resource management (RRM) conformance test cases for FR2 with two angles of arrival (2xAoA), using the R&S TS-RRM-NR 5G RRM conformance test system from Rohde & Schwarz. The test cases have been validated in multiple FR2 EN-DC band combinations, using the new R&S ATS1800M CATR based multi-AoA anechoic chamber. Conformance tests are vital for mobile communications techno-

logy, as mobile network operators worldwide rely on the certification schemes of PTCRB (PCS Type Certification Review Board) and GCF (Global Certification Forum) to accept mobile devices in their networks. Therefore, progress in RRM conformance testing in both, FR1 and FR2 frequency bands, is crucial for a successful rollout of 5G NR technology globally. RRM testing according to 3GPP is a challenging combination of several protocol and performance related test steps. Such RRM

tests typically verify the UE's ability to measure the strength of a signal coming in from different angles, and the related reaction time under different channel conditions, with variations of bandwidth, power levels and fading conditions.

### TS-RRM-NR 5G RRM conformance test system

The PTCRB has officially accepted the R&S TS-RRM-NR 5G RRM conformance test system from Rohde & Schwarz as suitable for the 5G RRM FR2 requirements as described in the 3GPP specifications. The validation process by the PTCRB requires PASS verdicts of the complete test case performed on at least two different devices. The updated version of the R&S TS-RRM, the acknowledged family of RRM conformance test systems from Rohde & Schwarz, has successfully accomplished this acceptance test for FR2 with two angles of arrival (2xAoA). For this, the device under test is being examined exposed to signals arriving simultaneously from two different angles to

simulate real network conditions. The R&S TS-RRM-NR is now available in configurations for LTE, WCDMA and 5G technologies. The R&S CMX500 radio communication tester and the new R&S ATS1800M CATR based anechoic chamber for mmWave 5G OTA testing have added 5G NR signaling functionality for FR2 1xAoA and 2xAoA to the integrated test system. It is operated by the R&S CONTEST sequencer software and offers high efficiency and precise, reproducible measurement results.

The R&S ATS1800M allows multiple angles of arrival (AoA) measurements compliant to the enhanced IFF test setup as per 3GPP TS 38.508-1 thanks to its two side chambers and large, overlapping quiet zone. The 5G RRM test cases are also supported by the R&S TS8980, a unique integrated RF conformance test system supporting mobile technologies all the way from 2G to 5G including FR2.

■ Rohde & Schwarz  
GmbH & Co. KG  
[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)



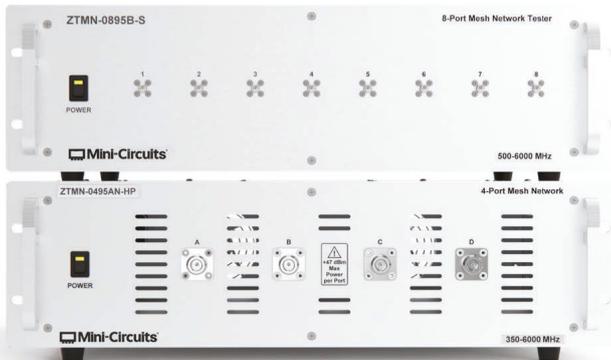
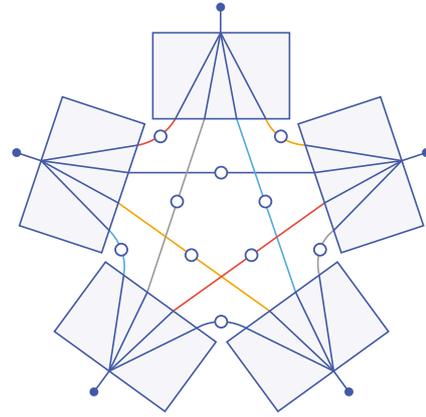
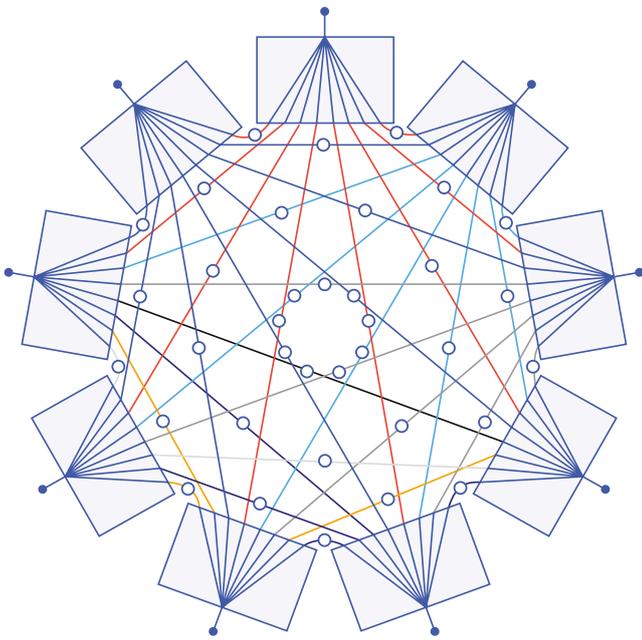
1 MHZ TO 50 GHZ

# Mesh Network Test Systems

Simulate Real-World Mesh  
Communication in Your Lab

- Port counts from 3 to N
- Independently controlled attenuation on every path
- Attenuation range up to 120 dB





Ideal for testing receiver sensitivity, changes in range between devices, effects of interference on performance and more!

### Common applications:

- R&D testing of wireless "smart" devices
- Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, IoT
- Qualification / acceptance testing of military radios
- UHF / VHF band man-pack / vehicular systems
- PMR / TETRA

 Mini-Circuits®

**IE INDUSTRIAL GMBH**  
ELECTRONICS

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
www.ie4u.de  
anfrage@ie4u.de

**Mini-Circuits Europe**

Registered in England No 1419461  
Wharf Road, Frimley Green Camberley, Surrey GU16 6LF, England  
Tel 0044-1252-832600 Fax 0044-1252-837010

**municom®**

D-83278 Traunstein, Germany  
Tel. 0049-861-16677-0 Fax 0049-861-16677-88  
info@municom.de www.municom.de



## Gainblock für CATV und optische Heimnetze

Der koreanische Hersteller von MMICs und LNAs in GaAs- und GaN-Technologie ASB überzeugt seit langer Zeit mit seinem umfangreichen Portfolio und hervorragendem technischen Knowhow. Mit dem neuen Gainblock ASL39D2 von ASB erhalten Anwender ein Produkt, das im Bereich von 250 bis 1800 MHz in einer Push-Pull-Schaltung einer CATV-Downstream-Anwendung (in GaS E-PHEMT Technologie) OIP3-Werte von über

40 dBm und einen OP1dB von über 27 dBm erzielt. Außerdem verfügt der ASL39D2 über einen Gewinn von 18 dB über den gesamten Frequenzbereich gleichmäßig und variiert nur um +/-0,4 dB. Damit stellt dieser Gainblock einen der weltweit besten Bausteine dieser Art dar. Außerdem verfügt der ASL39D2 nicht nur über einzigartige Werte, sondern ist auch äußerst stabil und robust und damit auch nahezu ideal für anspruchsvolle Bedingungen.

Dadurch können Anwender den Gainblock hervorragend in Anwendungen für CATV/MoCa-Bereich oder in optischen Heimnetzen einsetzen.

### Technische Features des ASL39D2 im Überblick:

- Frequency: 250 ~ 1800 MHz
- Linearity: OIP3 >40 dBm, OP1dB >27 dBm
- Gain: 18 dB +/-0,4 dB
- NF: <1,6 ~ 3 dB
- good return loss
- 6,5 V/420 mA

■ **CompoTEK GmbH**  
[www.compotek.de](http://www.compotek.de)

### GaN-Schmalband-Leistungsverstärker für 860 bis 900 MHz



Der leistungsstarke schmalband-GaN-HF-Verstärker UWB Tech TAPCT-0.86-900-50-32V ist ein Best-in-Class-Galliumnitrid-Verstärker, der von 860 MHz bis 900 MHz arbeitet. Dieser PA ist geradezu ideal für kommerzielle Breitband-Plattformen sowie für extreme Anwendungen, da er robust ist und hohe Leistung bietet.

Die Betriebstemperatur dieses Verstärkers geht von -20 bis +80 °C. Seine Abmessungen sind 92(W) x 50,8(L) x 16,6(H) mm mit SMA-Buchse am HF-Eingang und HF-Ausgang. Dieser Verstärker hat eine Sättigungsleistung von mindestens 45 dBm und typisch 47 dBm. Er bietet eine minimale Leistungsverstärkung von 35 dB und eine typische Verstärkung von 37 dB mit einem typischen flachen Verlauf der Leistungsverstärkung von +/-0,5 dB. Der Ruhestrom in Klasse-AB-Betrieb beträgt typischerweise 1,5 A bei Verwendung einer 32-V-Versorgung.

■ **Globes Elektronik GmbH & Co. KG**  
[www.globes.de](http://www.globes.de)

## hf-Praxis

ISSN 1614-743X

Fachzeitschrift für HF- und Mikrowellentechnik

• **Herausgeber und Verlag:**  
beam-Verlag  
Krummbogen 14  
35039 Marburg  
Tel.: 06421/9614-0  
Fax: 06421/9614-23  
info@beam-verlag.de  
www.beam-verlag.de

• **Redaktion:**  
Ing. Frank Sichla (FS)  
redaktion@beam-verlag.de

• **Anzeigen:**  
Myrjam Weide  
Tel.: +49-6421/9614-16  
m.weide@beam-verlag.de

• **Erscheinungsweise:**  
monatlich

• **Satz und Reproduktionen:**  
beam-Verlag

• **Druck & Auslieferung:**  
Bonifatius GmbH,  
Paderborn  
[www.bonifatius.de](http://www.bonifatius.de)

Der beam-Verlag übernimmt, trotz sorgsamer Prüfung der Texte durch die Redaktion, keine Haftung für deren inhaltliche Richtigkeit. Alle Angaben im Einkaufsführer beruhen auf Kundenangaben!

Handels- und Gebrauchsnamen, sowie Warenbezeichnungen und dergleichen werden in der Zeitschrift ohne Kennzeichnungen verwendet.

Dies berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten sind und von jedermann ohne Kennzeichnung verwendet werden dürfen.

AGN  
ABB/ABU family  
ASL

## Broadband Solutions for DOCSIS 4.0

<p><b>High Power</b></p> <p>50-1200 MHz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AGN922 GaN Power Doubler, 24 V, Pout 118 dBμV</li> <li>• ABB817 GaAs Push-pull, 12 V, Pout 111,5 dBμV</li> </ul>	<p><b>High Linearity</b></p> <p>700-1800 MHz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ABB/ABU35xx family OIP3 37-40 dBm, OIP2 47-51 dBm</li> </ul>
<p><b>Low Noise, High Gain</b></p> <p>5-1200 MHz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ASL325 NF &lt; 1,0 dB, Gain 25 dB</li> </ul>	<p>5-1800 MHz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ABB/ABU15xx family Pout 100-102 dBμV</li> <li>• ABB/ABU25xx family Pout 104-105 dBμV</li> </ul>

CompoTEK GmbH  
Lindwürmstraße 97a  
80337 München  
+49 89 544 323 0  
info@compotek.de

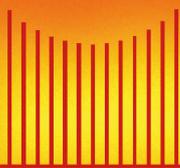
ASB

CompoTEK

**Wir sind ISO 9001:2015 zertifiziert, und bieten wohl über 100 verschiedene HF- und Mikrowellenkabel an, konfektioniert nach Kundenspezifikation, versehen mit allen gängigen, und auch vielen exotischen Steckverbindern. Die Kabel und Steckverbinder sind RoHS und REACH konform. Verschiedene Dielektrika in den Kabeln, wie auch in den Steckverbindern, genügen den unterschiedlichsten Anforderungen in Bezug auf Temperatur, Dämpfung, Leistung und Luftdruck.**



**Flexible Kabel & Semi - Rigid Kabel,  
zugeschnitten auf Ihren Anwendungsfall**



**Spectrum**  
Elektrotechnik GmbH

**wenn Qualität benötigt wird**

**80905 München**

**Telefon: 089-3548-040**

**WWW.SPECTRUM-ET.COM**

**Postfach 450533**

**Fax: 089-3548-0490**

**Email: Sales@Spectrum-ET.com**



# Protecting GPS Systems Against Spoofing and Jamming Threats



## Secure Firewall Overlay

BlueSky GNSS Firewall is deployed in-line between an existing GPS antenna and GPS receiver system. The BlueSky GNSS Firewall analyzes incoming GPS signals from the antenna to identify anomalous or spoofed GPS signals.

- Wireline and wireless networks
- Utility and power grids
- Data centers
- Transportation networks
- Emergency services
- Financial services

Now available in Germany through Globes, your trusted partner.



### HEILBRONN

Berliner Platz 12 • 74072 Heilbronn  
Tel: (07131) 7810-0 | Fax: (07131) 7810-20

### HAMBURG

Gutenbergring 41 • 22848 Norderstedt  
Tel: (040) 514817-0 | Fax: (040) 514817-20

### MÜNCHEN

Streiflacher Str. 7 • 82110 Germering  
Tel: (089) 894 606-0 | Fax: (089) 894 606-20

