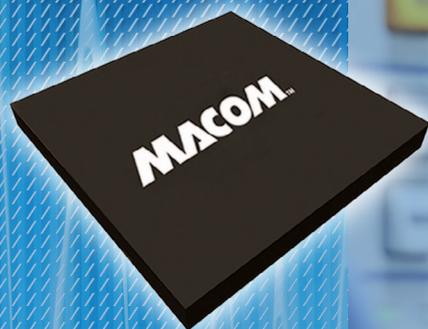


# hf-praxis

## HF- und Mikrowellentechnik

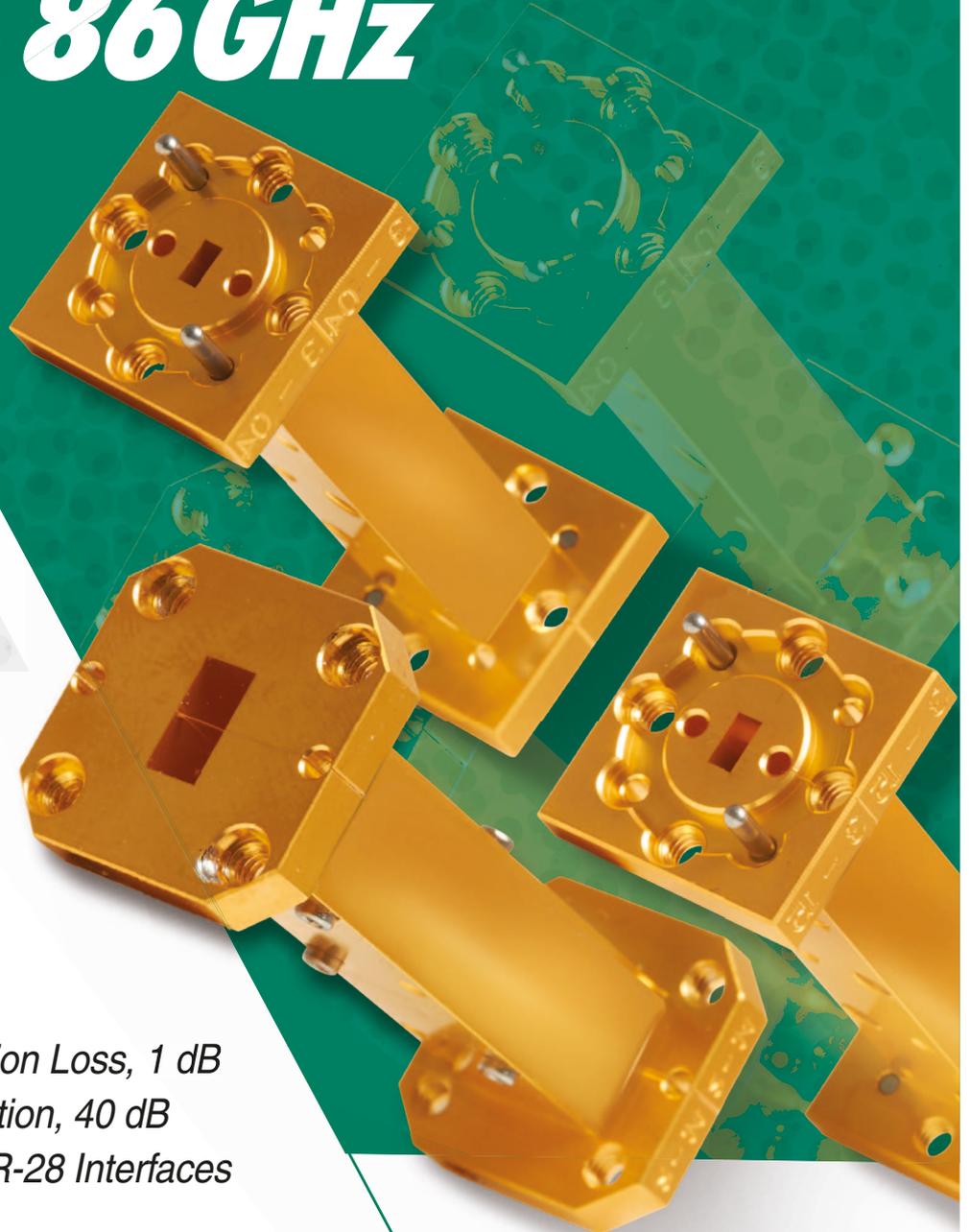
### Breitband-LNA-Verstärker mit sehr niedrigem Rauschen im SMT-Gehäuse

Macom, Seite 6



*INSTRUMENT GRADE*  
**WAVEGUIDE FILTERS**

**to 86 GHz**



- ▶ *Low Passband Insertion Loss, 1 dB*
- ▶ *High Stopband Rejection, 40 dB*
- ▶ *WR-12, WR-15, & WR-28 Interfaces*

 **Mini-Circuits®**

  
Virginia Diodes, Inc.



[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) (718) 934-4500 [sales@minicircuits.com](mailto:sales@minicircuits.com)

601 Rev Orig\_P

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL GMBH**  
ELECTRONICS

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
[www.ie4u.de](http://www.ie4u.de)  
[anfrage@ie4u.de](mailto: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](mailto:info@municom.de) [www.municom.de](http://www.municom.de)

## Was ist der Listenpreis in der Messtechnik noch wert?



Autor:  
Bernhard Strasser  
Telemeter Electronic GmbH  
www.telemeter.info

Viele Hersteller von hochwertiger Messtechnik übertrumpfen sich regelmäßig mit Rabatten und Sonderverkaufsaktionen. Das Erste, was mir hierbei oft entgegenspringt, ist eine große Zahl, gefolgt von einem Prozentzeichen. Alternativ werden Gratiszubehör oder Softwareoptionen zu „Aktionspreisen“ angeboten. Die Nachlässe erreichen teilweise bis zu mehreren tausend Euro. Aus meiner Sicht ist die Botschaft nur: „Billig!“.

Das bedeutet, dass dem Kunden oft aufgezwungen wird, sich zuallererst mit der Höhe des Rabatts auseinanderzusetzen. Meist gibt es dafür mehr oder weniger gute Begründungen, wie Lagerräumung, Abverkauf von Vorführgeräten oder Modellwechsel. Vielfach gibt es auch zur Markteinführung extrem niedrige Preise. Die Kunden werden dadurch genötigt, auch auf diese „Scheinspezifikation Rabatt vom Listenpreis“ großen Wert zu legen.

Welche Rolle spielen da eigentlich noch die sogenannten Bannerspezifikationen bzw. die wirklich benötigten Fähigkeiten des Gerätes? Für die Einordnung, welche Geräteklasse für eine Anwendung erforderlich ist, sind die gerätespezifischen Bannerspezifikationen wie z.B. Bandbreite oder Abtastrate äußerst hilfreich. Meistens sind diese jedoch zwischen den Anbietern

nicht eins zu eins vergleichbar. Für die letztendliche Entscheidung, von welchem Hersteller nun gekauft wird, sind sie leider nur ein Anhaltspunkt.

Wie komme ich nun als Kunde zu einem passenden Gerät und auch noch so, dass ich keine Rabattaktion versäume? Impulskäufe, wie im Privaten, kann sich ein Unternehmen nicht erlauben, also besser warten bis das Gerät in der nächsten Aktion besonders billig ist?

Die Produktmanager und Verkäufer der Messtechnikbranche sind oft mehr gefordert, die aktuell beste Kombination aus den einzelnen laufenden Rabattaktionen zu bestimmen, als die technischen Vorteile und die optimale technische Konfiguration des Gerätes für den Kunden und dessen Nutzen herauszuarbeiten.

Mein Fazit: Ich wünsche mir hier wieder deutlich mehr Sachlichkeit und Konzentration hin zu den wirklich entscheidenden Kundenanforderungen. Die enorme weltweite Konkurrenz sorgt dafür, dass die Verkaufspreise sowieso niedrig bleiben und hochwertige Messtechnik äußerst günstig angeboten wird. Ich bin gespannt, welcher Anbieter den ersten Schritt macht und den Mut hat, seine Listenpreise zu reduzieren und weniger den Rabatt in den Vordergrund zu stellen. ◀

## Smarte Lösungen für HF-Messtechnik von

# municom®

Technische Beratung und Distribution

**Mini-Circuits®**

- Schalter und Schaltmatrizen im 19" Einschub
- Mobile Testgeräte USB & Ethernet Schnittstelle
- Testkabel bis 50GHz



**WERLATONE**

- Digitale HF-Leistungsmesser bis 10kW
- Messung von Vorwärts- und Rückwärtsleistung, VSWR und Temperatur
- Lokale Messung und Fernabfrage
- Programmierbare Alarmzustände mit optischer/akustischer Meldung, Relaisausgänge



**Noisecom**

- Rauschgeneratoren zur System- und Komponentenanalyse
- Gaußsches Breitbandrauschen, Eb/No, C/No, C/I, C/N



**Boonton**

- Peak Power Meters



**RF Optic**  
Optical RF Solutions

- Störstrahlungssichere HF-Verbindungen über Glasfaser



municom GmbH  
Fuchsrube 4  
83278 Traunstein  
info@municom.de  
Tel. +49 861 16677-99

ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification  
N° 1300-DM-02-001  
EN ISO 9001:2015



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



**Farran  
Technology**

**Extend your reach**



**COBALT**

**New accurate, compact and affordable  
Testsolution for Frequencies up to 110GHz**

- ▶ WR 15 50-75 GHz
- ▶ WR 12 60-90 GHz
- ▶ WR 10 75-110 GHz

This revolutionary Test & Measurement system makes mm-Wave frequency measurements available and affordable for each the price sensitive and price conscious mm-Wave customer. The PC based VNA's and Frequency Extenders combine the best product solutions from Copper Mountain Technologies and Farran Technology, and is technically comparable to all VNA Solutions from major brands. With savings of up to 50%, compared to current Test & Measurement solutions, this makes mm-Wave testing affordable to everyone.

### Applications:

- ▶ Material Characterization
- ▶ 5G Application
- ▶ WiGig 60GHz
- ▶ Backhaul 70GHz & 80GHz
- ▶ Automotive Radar
- ▶ On Wafer S-Parameter Measurements
- ▶ Bench-Top DUT Characterization
- ▶ Antenna Range Measurements

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 • info@tactron.de**

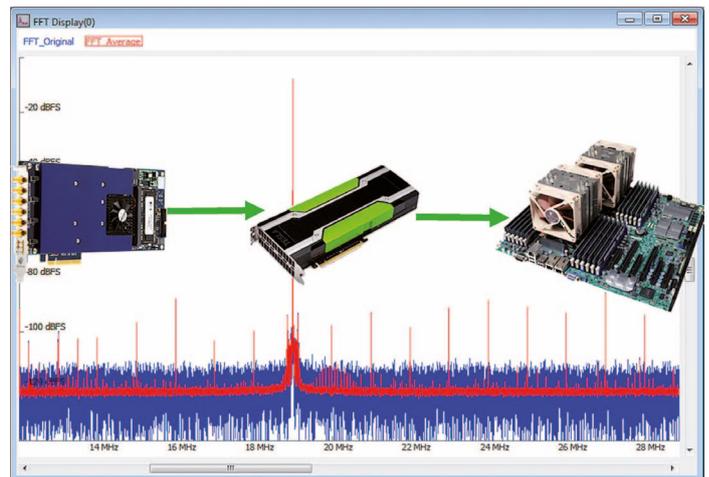


**Titelstory:**

### Breitband-LNA-Verstärker mit sehr niedrigem Rauschen

Macom kündigte eine neue Gehäuseversion seines Breitband-LNAs (Low Noise Amplifier) MAAL-011141 an, der für eine niedrige Rauschzahl im gesamten Bereich von DC bis 28 GHz optimiert wurde. **6**

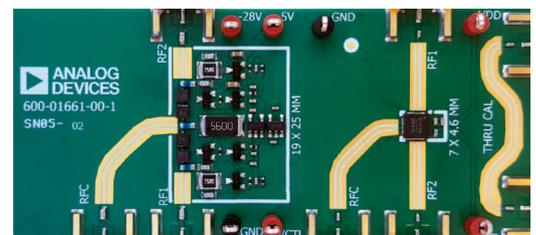
### Schwerpunkt Messtechnik ab Seite 8



### Digitizer mit Block-Average für extrem lange und schwache Signale

Ein neues „Signal-Averaging“-Paket von Spectrum Instrumentation verwendet SCAPP zusammen mit den neuesten Digitizern des Unternehmens, um die parallele Struktur einer CUDA-Grafikkarte zur Datenbearbeitung nutzbar zu machen. **26**

**Bauelemente  
ab Seite 36:**

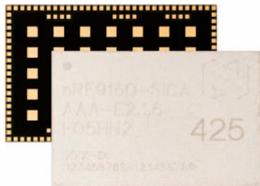


### Hochleistungs-Siliziumschalter erleichtern Frontend-Entwicklungen

Im 5G-Zeitalter kommen massive MIMO-Systeme zum Einsatz, um den steigenden Bedarf an hohem Datendurchsatz und einem neuen Spektrum an Services zu decken. Hochleistungs-Siliziumschalter von Analog Devices helfen bei Frontend-Entwicklungen Bias-Leistung und externe Bauteile zu sparen. **43**

## Antennen: Stabantenne für LTE Cat M1

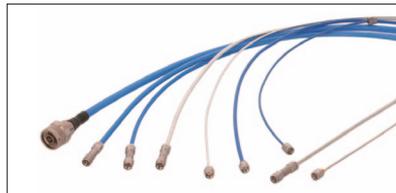
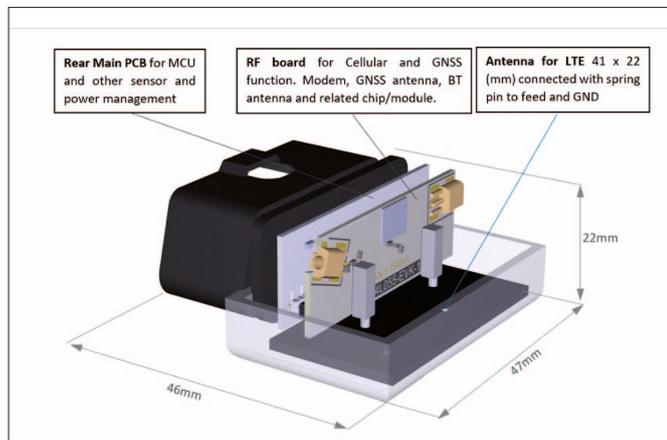
Antenova wählte die Messe CES 2019 dazu, eine neue Stabantenne und deren jüngstes Referenzdesign für ein kleines, aber leistungsfähiges, auf der Platte enthaltenes Gerät (OBDII) vorzustellen. 54



### Funkmodule:

## Einfacher Einsatz von Mobilfunk für IoT

Das Funkmodul nRF9160 SiP von Nordic (Vertrieb: Rutronik) macht Entwicklern die neuste LTE-Schmalbandtechnologie für eine Vielzahl von Anwendungen zugänglich. 53



RF & Wireless ab Seite 63:

## Innovations in Connectivity and RF Energy

Alongside the recently launched CT assemblies, Huber+Suhner demonstrated its future-proof solutions for automotive, energy and semi-conductor testing applications. 75



### EMV :

## Klassengesellschaft: Grundtypen von EMV-Verstärkern

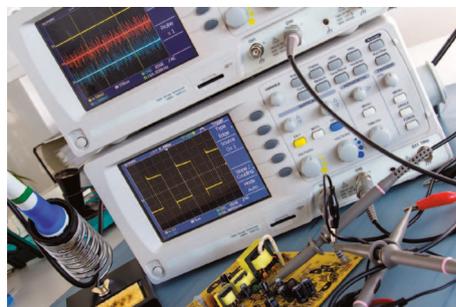
Eine wichtige Rolle in der EMV-Mess- und Prüftechnik spielen speziell dafür entwickelte Verstärker. Nachdem in Heft 1 ihre Kennwerte erläutert wurden, stellt dieser Beitrag die Grundtypen dieser EMV-Verstärker näher vor. 34



### Kabel und Stecker:

## Cluster-Connector wächst mit Anforderungen

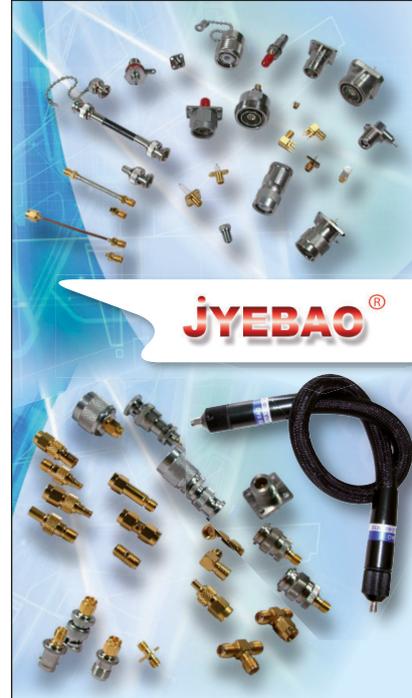
Die Anforderungen an Steckverbinder steigen. Diesen Erfordernissen begegnet man bei Spinner mit einer Idee: einem Cluster, das alle Verbindungen bereitstellt – von Koaxial über DC bis hin zu AISG und Glasfaser. 56



### Verstärker ab Seite 58:

## Ultra-Low-Phase-Noise-Verstärker

Macom gab die Verfügbarkeit erster Komponenten seines neuen Portfolios von Breitbandverstärkern mit extrem niedrigem Phasenrauschen bekannt. Sie eignen sich ideal als rauscharme Verstärkerstufe für Signalerzeugungsanwendungen in den Bereichen T&M, EW, ECM und Radar. 61



**JYEBAO®**

**embeddedworld**  
Exhibition & Conference  
...it's a smarter world

Visit us at stand 3/320  
**embedded world 2019**

### » HF-Verbinder

- MCX, MMCX, SMP, SSMB
- SMA, 3.5, K
- BNC, TNC, BMA
- N, 7/16 ...

### » HF-Adapter

- Within Series
- Between Series
- T-Adaptor
- Snap-On

### » HF-Kabel

- Semi-Rigid
- Hand Bendable
- Flexible RG

### » Kabelkonfektionen

- Low Loss
- Phase Matched
- Delay Line

### » HF-Komponenten

- Fixed Attenuator
- Power Divider
- Matching Pad
- High Power Termination

### » VNA-Testkabel bis 40 GHz

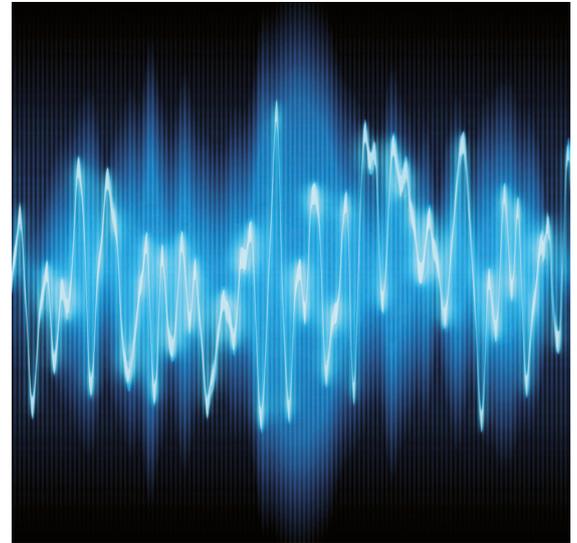


CompoTEK GmbH  
Lindwurmstrasse 97a  
80337 München

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

info@compotek.de  
www.compotek.de

# Breitband-LNAs mit extrem niedrigem Rauschen im SMT-Gehäuse



Macom kündigte eine neue Gehäuseversion seines Breitband-LNAs (Low Noise Amplifier) MAAL-011141 an, der für eine niedrige Rauschzahl im gesamten Bereich von DC bis 28 GHz optimiert wurde. Der MAAL-011141 ist jetzt in einem 5-mm-Standard-AQFN-Gehäuse für die Pick&Place-Montage erhältlich und bietet Breitbandleistung für ein breites Anwendungsspektrum einschließlich Test- und Messanwendungen, EW-, ECM- und Radaranwendungen.

## Flacher Verstärkungsverlauf

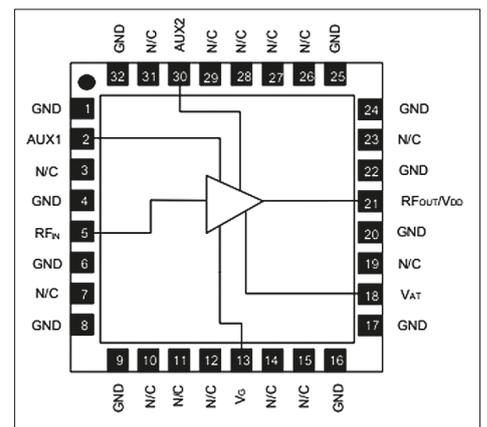
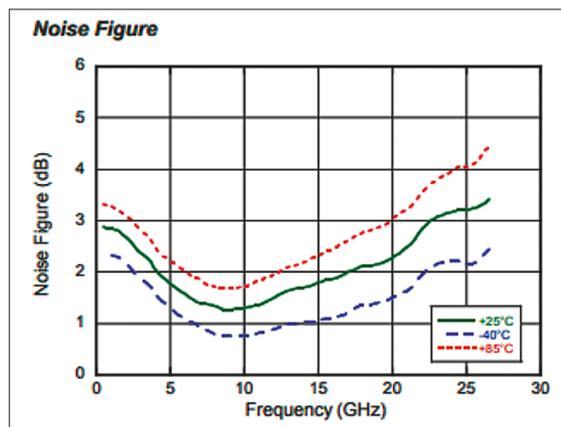
Dieser Breitband-LNA bietet einen flachen Verstärkungsverlauf über das gesamte Band

mit einer typischen Verstärkung von 17,5 dB. Ein- und Ausgang sind vollständig auf 50 Ohm abgestimmt, mit einer typischen Rückflussdämpfung über das gesamte Band von >15 dB. Der MAAL-011141 ermöglicht eine einfache Bedienung durch die Verwendung von positiver Gate-Vorspannung, sodass keine negative Spannungsversorgung erforderlich ist. Dieser Verstärker verwendet eine aktive Abschlusschaltung, um eine hervorragende Rauschzahl im unteren Teil des Frequenzbereichs zu erreichen.

„Diese Gehäuseversion des MAAL-011141 ist eine Reaktion auf den enormen Markterfolg des Anfang 2018 erschienenen Bare-Die-Formats. Wir wollen

mit der gehäuseten Version Kunden ansprechen, die Standard-SMT-Fertigungsabläufe nutzen“, erklärt Graham Board, Senior Director of Product Marketing, Macom. „Der MAAL-011141 soll eine mit der Bare-Die-Version vergleichbar hohe Leistung bieten, dabei aber die Kosten und die Komplexität des Montageprozesses reduzieren und so Kunden dabei unterstützen, ihr Time-to-Market zu verkürzen.“

Die MAAL-011141 LNAs von Macom stehen den Kunden als Bare-Die und gehäust zur Verfügung. Unterstützung bei der Identifizierung von MACOM-Produkten, die optimiert wurden, um Angebote anderer Anbieter zu ersetzen, finden sie im Macom-Cross-Reference-Tool. ◀



# Satisfy All Your RF & Microwave Amplifier Needs



**Solid State 6 To 18 GHz Single Band Amplifiers**  
**Class A Amplifiers Up to 40 Watts CW, Now With Liquid Cooling**  
Unit provides excellent gain flatness and  $\infty$  to 1 output protection.  
Ideal for EW & radiated susceptibility testing.



**Solid State 700 MHz to 18 GHz Dual Band Amplifiers**  
AR offers the widest Class A solid state frequency range coverage in a single amplifier housing. These amplifiers come in a split band configuration from 0.7 to 6.0 GHz up to 60 watts and 6 to 18 GHz up to 40 watts CW. It costs less, weighs less, and takes up less space than two separate amplifiers.



**Solid State 700 MHz to 6 GHz, Single Band Amplifiers, Hybrid Modules to 100 Watts, Benchtops to 500 Watts CW**  
Class A designs for linear applications; Class AB designs for increased power and efficiency. Applications include EW, reliability stress screening and EMC test.



**Solid State 0.8 to 4 GHz Pulsed Amplifiers**  
Octave & Sub-Octave Bandwidths & Up to 150,000 Watts  
For automotive and military EMC radiated susceptibility testing, as well as radar and communication applications. Longer reliability and shorter delivery than comparable TWTA's.



**AR's Universal Solid State Class A Amplifiers**  
10kHz - 1000MHz  
Single Band 1, 2.5, 10, 25, 50, 100 Watts  
And Now Up To 250 Watts!  
Low Cost/High Performance.

[www.arworld.us/advantage](http://www.arworld.us/advantage)



## Erweitertes LCR-Pinzetten-Meter



Das LCR Elite2 ist das neueste Handheld-LCR-Meter der Elite-Serie aus dem Hause LCR Research. Es handelt sich um ein erweitertes Basis-LCR-Pinzetten-Meter mit hoher Genauigkeit und Überspannungsschutz.

Das LCR Elite2 beeindruckt durch sein verändertes, modernes Design ebenso wie durch einige zusätzliche Funktionen, die das Durchführen von LCR-Messungen noch komfortabler machen. Die Basisgenauigkeit liegt beim LCR Elite2 bei 0,2% (Widerstand), 0,2% (Kapazität), 0,4% (Induktivität). Außerdem ist das LCR Elite2 mit der neuartigen, hausintern entwickelten Aegis-Technologie ausgestattet. Diese sorgt für eine automatische Trennung der Überspannung vom LCR-Meter und gewährleistet so einen Überspannungsschutz bis  $\pm 48$  V DC zwischen den Testspitzen.

Das LCR Elite2 ist ein hochgenau arbeitendes LCR-Meter zum Messen von Induktivität (L), Kapazität (C) und Widerstand (R). Die vergoldeten Präzisionsspitzen ermöglichen einfaches, zuverlässiges und punktgenaues

Kontaktieren von SMD-Komponenten bis herunter auf 0201. Die geschirmte 4-Draht Messspitze/Probe sorgt für hohe Messgenauigkeit und reduziert parasitäre Parameter auf ein Minimum.

Das LCR Elite2 ist mit einer handlichen Größe von 151 x 19 x 14,5 mm der ideale Partner für den mobilen Einsatz. Auch die praktische Handhabung ist dank technischer Neuerungen noch bequemer als bei seinen Vorgängern. Die Bedienung erfolgt über eine einzige Taste, ein Set an Shortcuts erlaubt eine schnelle Einhand-Handhabung und eine scharfe OLED-Anzeige ermöglicht das einfache Ablesen der Testergebnisse.

Das Gerät hat vier Testfrequenzen von 0,1, 0,12, 1 und 10 kHz, es verfügt über Messbereiche von 20 mOhm bis 10 MOhm, 0,1 pF bis 5 mF und 0,1  $\mu$ H bis 1 H und ist mit einer wiederaufladbaren LIPO-Batterie sowie einem USB-Anschluss ausgestattet (ausschließlich zum Laden des Akkus). Neu ist weiterhin die hausintern entwickelte Aegis-Technologie, die eine Überspannung automatisch

vom LCR-Meter trennt und eine „Over-Volt“-Meldung anzeigt. Mit der Aegis-Technologie ist ein Überspannungsschutz bis  $\pm 48$  V DC (oder  $\pm 34$  V AC) zwischen den Testspitzen garantiert.

Erhältlich ist das LCR Elite2 im Webshop unter [www.meilhaus.de](http://www.meilhaus.de).

## Highend-Messdatenerfassungssystem

Mit dem Messdatenerfassungssystem DAQ970A präsentiert Keysight seinen jüngsten Beitrag im Bereich der Highend-Messtechnik für noch schnelleres Arbeiten in Produktions- und Entwicklungstestsystemen, wo gerne große Messsysteme mit vielen Kanälen eingesetzt werden.

Das DAQ970A ist ein modulares 3-Slot-Datenerfassungssystem, das höchste Präzision und Flexibilität mit einer einfach zu bedienenden Software vereint, ist eine Weiterentwicklung der 34970A/34972A-Messdatenerfassungssysteme und mit deren Kommandosatz kompatibel. Die

umfangreichen Datenprotokollierungs-Funktionen erlauben nun auch die Messung von Kapazität und das Testen von Dioden. Ebenso ist nun ein Intervall-Scannen mit Speicherung von bis zu 100.000 Messwerten möglich. Die erweiterten Datenerfassungs- und Schaltfunktionen des DAQ970A lassen Leseraten von bis zu 5000 Messungen pro Sekunde auf einem einzelnen Kanal zu und eine Scanrate von bis zu 450 Kanälen pro Sekunde.

Das DAQ970A besteht aus einem Mainframe mit internem 6- $\frac{1}{2}$ -Digit-Digitalmultimeter und drei Steckplätzen für acht frei kombinierbare Module. Mit dem neuen 6- $\frac{1}{2}$ -Digit-DMM lassen sich sehr niedrige Ströme (Bereiche: 1  $\mu$ A Gleichstrom und 100  $\mu$ A Wechselstrom) und ein sehr hoher Widerstand bis 1 GOhm messen. Ebenfalls neu ist die Autokalibrierfunktion, die herkömmliche DMM-Genauigkeitsfehler ausgleicht.

Das DAQ970A misst und verarbeitet 13 unterschiedliche Größen: Temperatur anhand von Thermoelementen, RTDs und



PORTABLE ISOTROPIC  
**3D ANTENNA**  
ISOLOG 3D MOBILE PRO



**9 kHz - 6 GHz**

Very high gain up to 6 GHz

Two internal bypass preamps

Compatible with all analyzers



Telefon: +49 6556 9019 350  
Mail: mail@aaronia.de  
Web: www.aaronia.de

**MADE IN GERMANY**



die Überwachung der Stromversorgung um vieles vereinfacht. Zusätzliche Funktionen für die Nachverfolgung, die Zeitsteuerung oder die Analyse von Signalen bieten dem Anwender noch mehr zusätzliche Möglichkeiten. Durch zahlreiche Schnittstellen ist sogar eine Fernsteuerung schnell und einfach für Testsysteme möglich.

■ Telemeter Electronic GmbH  
www.telemeter.info

Thermistoren, Gleich- und Wechselspannung, Zwei- und Vierkanal-Widerstand, Gleich- und Wechselstrom und nun auch Kapazität und Dioden. Die externen Steckmodule bieten eine Auswahl von Funktionen für Multiplexing, Matrixschaltungen, Schaltungen für allgemeine Zwecke, HF-Schaltungen, digitale E/A, Summierer und 16-Bit-Analogausgang. Eine Neuheit unter den Steckmodulen ist der 20-Kanal-Halbleiter-Multiplexer, mit dessen Hilfe eine Scan-Rate von bis zu 450 Kanälen pro Sekunde erreicht wird.

Auf der Frontseite befinden sich alle Knöpfe zur Messkonfiguration und ein LC-Display, auf dem die Messergebnisse in unterschiedlichen Formaten (numerisch, als Balkendiagramm, Trenddiagramm oder Histogramm) ausgegeben werden können. Das DAQ970A beeindruckt mit Präzisionsmessfunktionalität und bietet dank seiner modularen Konzeption eine maßgeschneiderte Lösung für jede Messanforderung. Es ist erhältlich im Webshop unter [www.meilhaus.de](http://www.meilhaus.de).

■ Meilhaus Electronic GmbH  
sales@meilhaus.de  
www.meilhaus.de

## Netzteil-Serie mit 200 W Leistung



Die Labornetzteile der Serie DP800 von Rigol, welche von Telemeter verkauft werden, sind sehr hochwertige und linear geregelte Netzteile. Sie haben einen DC-Ausgang und bieten eine Leistung von bis zu 200 W. Wie bei allen Produkten von Rigol ist auch bei diesen Geräten der Serie DP800 die Bedienführung durchdacht und gut strukturiert. Die Netzteile verfügen über alle wichtigen Komfortfunktionen, welche eine leichte Bedienung ermöglichen. Mit den integrierten V-, A- und W-Messungen wird

## Intelligente Messkammer-Lösungen



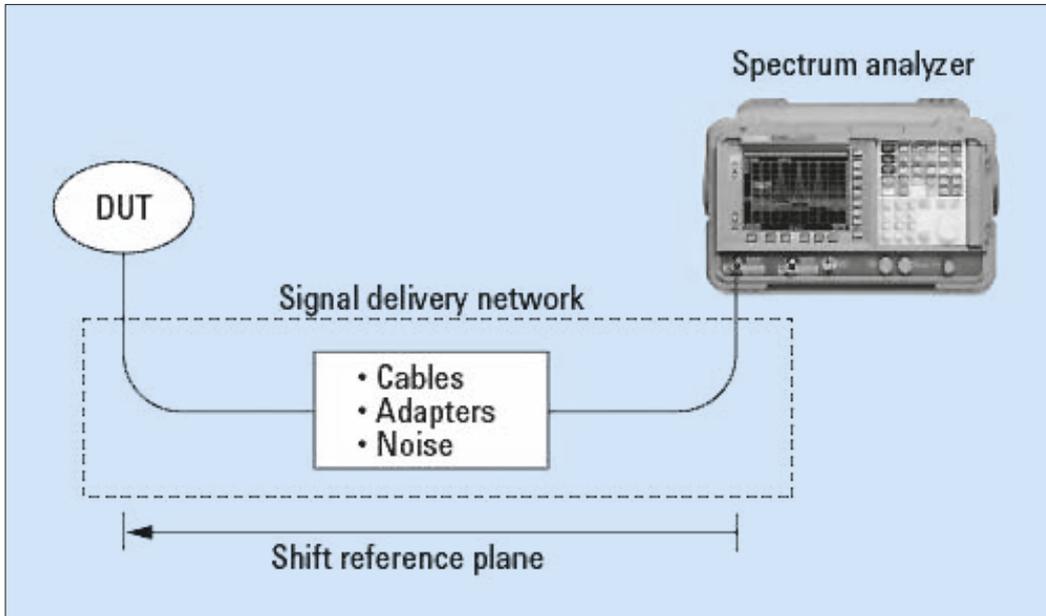
Viele Unternehmen, die elektronische Komponenten und Systeme entwickeln, nutzen mobile Messkammern zur Optimierung ihrer Produkte. Hierbei kann bereits bei der entwicklungsbegleitenden Prüfung der EMV-Konformität festgestellt werden, ob die vorgegebenen Grenzwerte hinsichtlich Störemissionen und Störfestigkeit entsprechend eingehalten werden.

Aufgrund steigender Sicherheitsanforderungen ist für kritische Komponenten oftmals eine 100%-Endprüfung der Produkte erforderlich. Gerade in diesem Bereich erfüllen modulare Messkammern die Anforderungen zahlreicher Kunden. Individuelle Steuerungs-, Mess- und Bedienkonzepte, bis hin zu vollautomatischer Steuerung der Messkammer, ermöglichen hierbei den Aufbau intelligenter Messlösungen für verschiedenste Anwendungen im Bereich Entwicklung, Fertigung oder auch im Labor und in der Qualitätssicherung.

Die Kunden profitieren besonders von den Möglichkeiten des modularen Fertigungskonzeptes, z.B. frei definierbare Kammergröße, verschiedenen Türkonzepten, der Integration von Antennen, einem Positioniersystem sowie Prüflingsaufnahmen. Zusätzlich können Kunden in Zusammenarbeit mit Telemeter Electronic eine Messkammer entwickeln, die perfekt auf die jeweilige Verwendung abgestimmt ist.

■ Telemeter Electronic GmbH  
www.telemeter.info

# Bessere Messergebnisse mit dem Spektrumanalysator



Es ist wichtig, die grundsätzlichen Nachteile zu kennen, die man sich bei der RBW-Auswahl einhandeln kann. Dies hilft aber nur dann, wenn man die Messsituation schon einigermaßen kennt und etwa weiß, welcher Parameter dabei die größte Rolle spielt. In Fällen aber, wo man sich seiner Sache nicht sicher sein kann, sodass sich ein ungünstiges Herangehen nicht vermeiden lässt, bieten moderne Spektrumanalysatoren Möglichkeiten, Fallstricke und Nachteile zu umgehen. Grundsätzlich ist die digitale Signalverarbeitung dazu geeignet, besonders genaue Messungen zu ermöglichen und eine hohe Messgeschwindigkeit mit einer geringen RBW zu verbinden.

**Ob ein Spektrumanalysator schon etwas betagt ist und analog nach dem Superheterodyn-Prinzip arbeitet oder auf Basis der digitalen Signalverarbeitung - in jedem Fall muss eine Messung mit optimierter Einstellung erfolgen, um bestmögliche Messergebnisse zu erhalten. Worauf es dabei im Detail ankommt, beschreibt dieser Bericht.**

## Auswahl der besten Auflösungsbandbreite

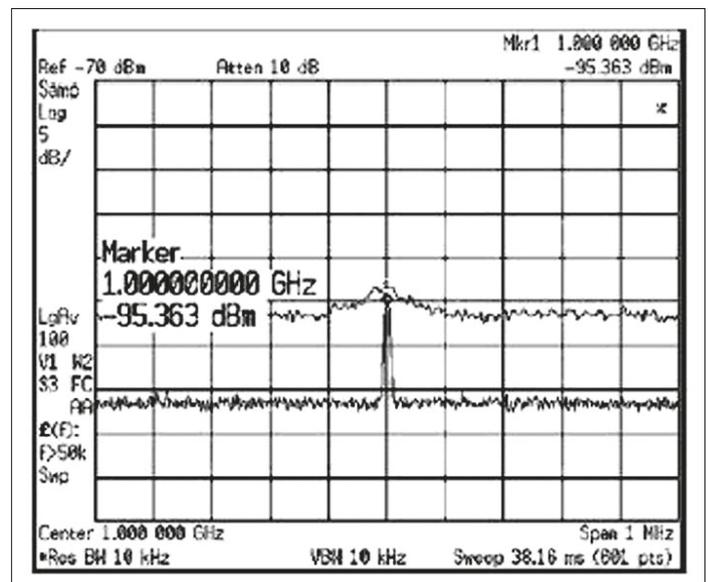
Die Einstellungen für die Resolution Bandwidth (RBW) müssen wohlüberlegt sein, wenn die Darstellung der spektralen Anteile richtig erfolgen soll. Hier geht es insbesondere um die Bemessung des angezeigten Rauschflurs (Average Noise Level, DANL). Die Faktoren Genauigkeit, Schnelligkeit und Dynamikbereich sind besonders bei Auftragsmessungen wichtig und beeinflussen sich teils gegenseitig. Durch eine geeignete RBW-Einstellung lässt sich der beste Kompromiss herbeiführen. Eine geringe RBW senkt den Rauschflur und begünstigt die Messung von kleinen Signalen, da der DANL klein ausfällt und somit der Dynamikbereich (nach unten hin) erweitert wird. Der Analyzer wird empfindlicher. In Bild 1 ist erkennbar, dass ein -95-dBm-Signal dann besser aufgelöst wird, wenn man die RBW von 100 kHz auf 10 kHz vermindert.

Etwa bei modulierten Signalen ist es hingegen wichtig, die RBW so zu wählen, dass auch die Seitenbänder mit erfasst werden. Andererseits entsteht eine hohe

Ungenauigkeit. Eine (zu) geringe RBW hat zudem den Nachteil, die Durchlaufgeschwindigkeit (Sweep speed) zu begrenzen. Eine höhere RBW ermöglicht eine höhere Geschwindigkeit bei gegebenem Span-Bereich. Die Bilder 2 und 3 erlauben einen Vergleich bezüglich der Sweepzeiten bei 10 kHz bzw. 3 kHz RBW innerhalb von 200 MHz Span-Bereich.

## Verbesserung der Messgenauigkeit

Bevor man überhaupt eine Messung macht, muss man wissen, dass es verschiedene Techniken gibt, die man nutzen kann, um die Anzeige bei Amplitude und Frequenz möglichst genau zu gestalten. Vorhandene Selbstkalibrierungsroutinen generieren Fehlerkoeffizienten (zum Bei-

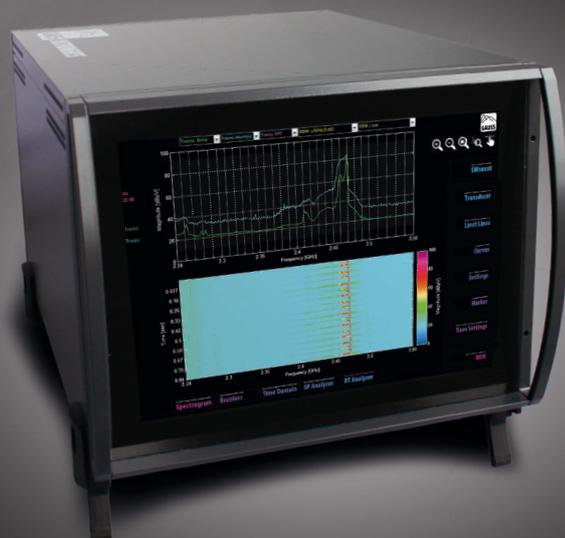


**Bild 1: Ein -95-dBm-Signal wird dann besser aufgelöst, wenn man die RBW von 100 kHz auf 10 kHz vermindert**

Quelle: Keysight Technologies/Agilent Technologies, Spectrum Analyzer Application Note 1286-1: 8 Hints For Better Spectrum Analyzer Measurements, 2014 übersetzt und gekürzt von FS

# THE NEW BENCHMARK IN EMC TESTING

## BEST RF PERFORMANCE AND LOWEST NOISE FLOOR



**BOOSTING your overall test & measurement quality  
by patented TDEMI® TECHNOLOGY**



# 685<sup>MHz</sup>

**REAL-TIME BANDWIDTH  
TDEMI® TECHNOLOGY**

# 40<sup>GHz</sup>

**ULTRA-FAST RECEIVER SCANNING  
TDEMI® TECHNOLOGY**

**The TDEMI® ULTRA is the only Solution providing all the Features of the "FFT-based measuring Instrument" according to the new Standards with 685 MHz Real-time Bandwidth and CISPR Detectors.**

by the inventors of the full compliance real-time FFT based measuring instrument.  
gauss-instruments.com

Besuchen Sie uns auf der **emv**  
**Stand C2 310** Stuttgart, 19. – 21.03.2019

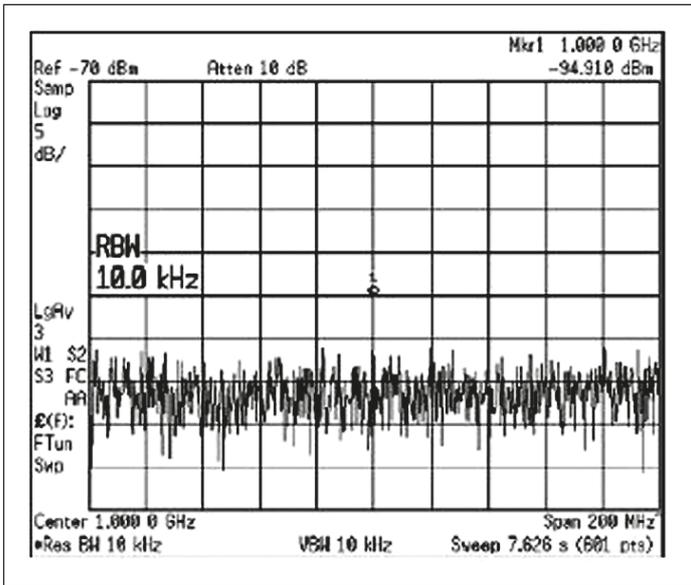


Bild 2: Sweeptime-Beispiel mit 10 kHz RBW

spiel bezüglich Amplitudenänderungen mit der Auflösungsbandbreite), welche der Analyser später nutzen kann, um die Messdaten zu korrigieren, was in einer besseren Amplitudenmessung resultiert. Dies bedeutet eine größere Freiheit bei den Einstellungen, die nun auch während der Messung vorteilhaft geändert werden können. Während das Messobjekt (Device Under Test, DUT) an den kalibrierten Spectrum Analyzer angeschlossen ist, kann das Verbindungsnetzwerk das Signal absenken oder ändern, was beim Messergebnis

zu berücksichtigen ist. Dazu lässt sich, falls vorhanden, die Amplitudenkorrektur-Funktion in Verbindung mit einer Signalquelle und einem Leistungsmessgeräte (Powermeter) heranziehen. Bei modernen Spectrum Analyzern kann man auch direkt verschiedene Fehlerkoeffizienten für bestimmte Antennen, Kabel oder anderes Equipment speichern, sodass eine spätere Kalibrierung entfällt. Für eine genaue Messung der Frequenz nutzt man den eingebauten Zähler eines Spectrum Analyzers, was viele der Quellen von Frequenzgenau-

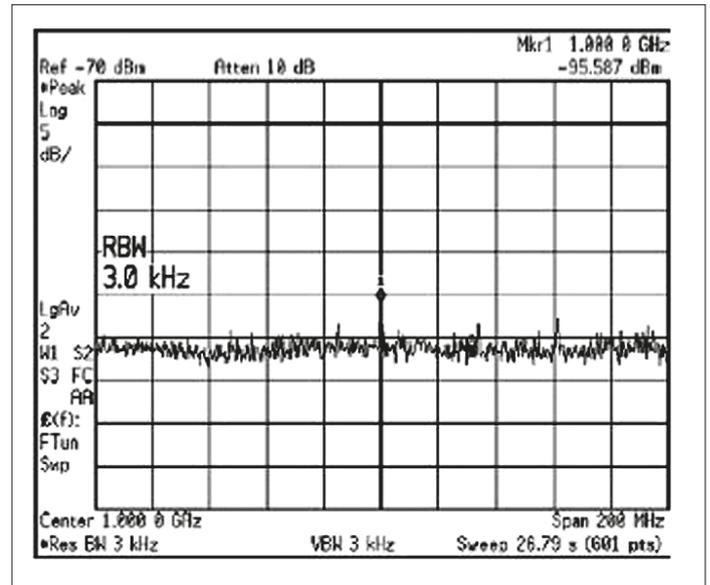


Bild 3: Sweeptime-Beispiel mit 3 kHz RBW

igkeiten, wie z.B. Span, eliminiert. Man sollte immer versuchen, bei mehreren Messungen möglichst viele Einstellungen, wie RF Attenuator, Resolution Bandwidth oder Referenzpegel, beizubehalten, sodass Ungewissheiten minimiert und die Vergleichsgenauigkeit maximiert werden. Das erklärt, warum es wichtig ist, das Design seines Analyzers zu kennen. Beispielsweise entsteht kein zusätzlicher Fehler, wenn bei einem High-Performance Analyzer die RBW umgeschaltet wird, da dieser die ZF digitalisiert.

## Optimierung der Empfindlichkeit bei kleinen Signalen

Die Fähigkeit, kleine Signale zu messen, wird durch das Eigenrauschen des Spectrum Analyzers begrenzt. Die Empfindlichkeit gegenüber kleinen Signalen wird durch Vordämpfung (interner Input Attenuator), Vorverstärker und eingestellte RBW festgelegt. Bild 4 zeigt ein 50-MHz-Signal, dessen Darstellung durch das Analysatorrauschen beeinträchtigt ist. Minimierung der Vordämpf-

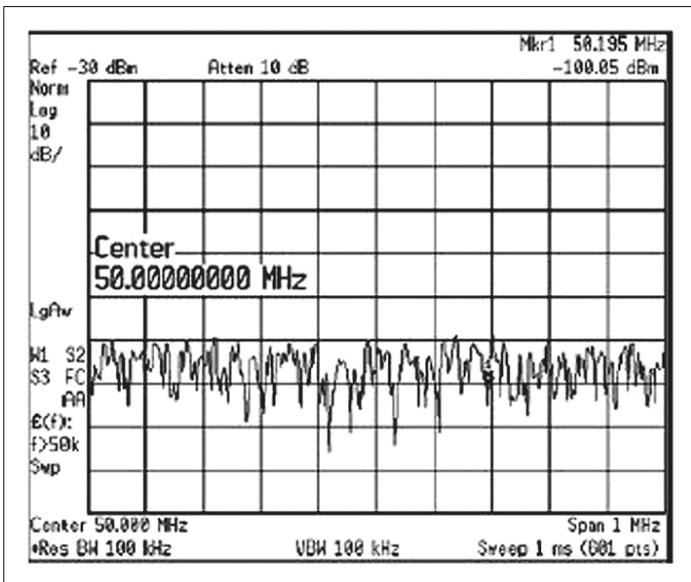


Bild 4: Ein 50-MHz-Signal, dessen Darstellung durch das Analysatorrauschen beeinträchtigt wird

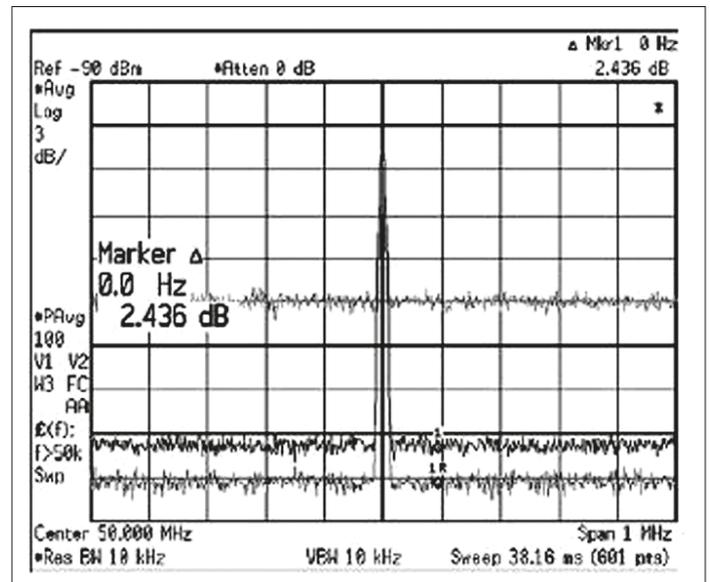


Bild 5: Optimierung nach sukzessiver Verminderung des DANL, siehe Text



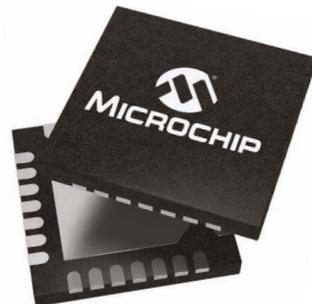
## Die Verbindung herstellen

Mit der Welt vernetzen – mit und ohne Kabel

Sie sind tagsüber genug gefordert. Microchip ist sich dessen bewusst, weshalb wir die Datenanbindung Ihres Designs einfacher machen. Ob Sie eine robuste und zuverlässige Kabelverbindung oder die Mobilität und den Komfort einer Funkverbindung benötigen – das umfangreiche Angebot von Microchip hilft Ihnen, die Verbindung herzustellen.

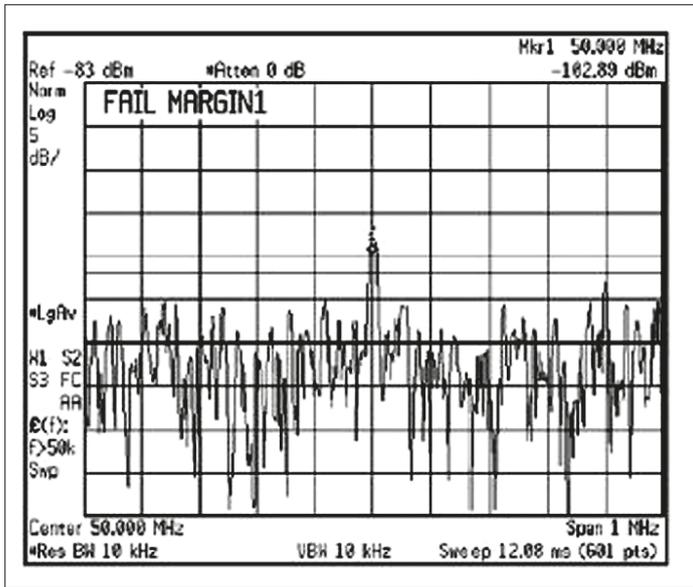
Unsere MCUs und MPUs sind so ausgelegt, dass sie zu unseren kabel- und funkbasierten Bausteinen kompatibel sind. Mit unseren zertifizierten Modulen und produktionsfertigen Protokoll-Stacks können Sie Ihre Produkte schnell auf den Markt bringen.

Vernetzen Sie sich mit Microchip und erfahren Sie, wie Sie eine sichere Verbindung mit der Welt um Sie herum herstellen können.



Verbindung herstellen unter  
[www.microchip.com/Connected](http://www.microchip.com/Connected)



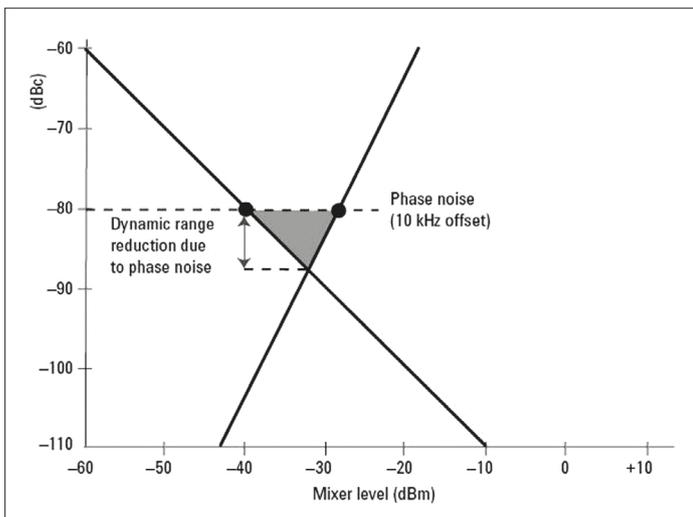


**Bild 6:** Zur Funktion FAIL MARGIN

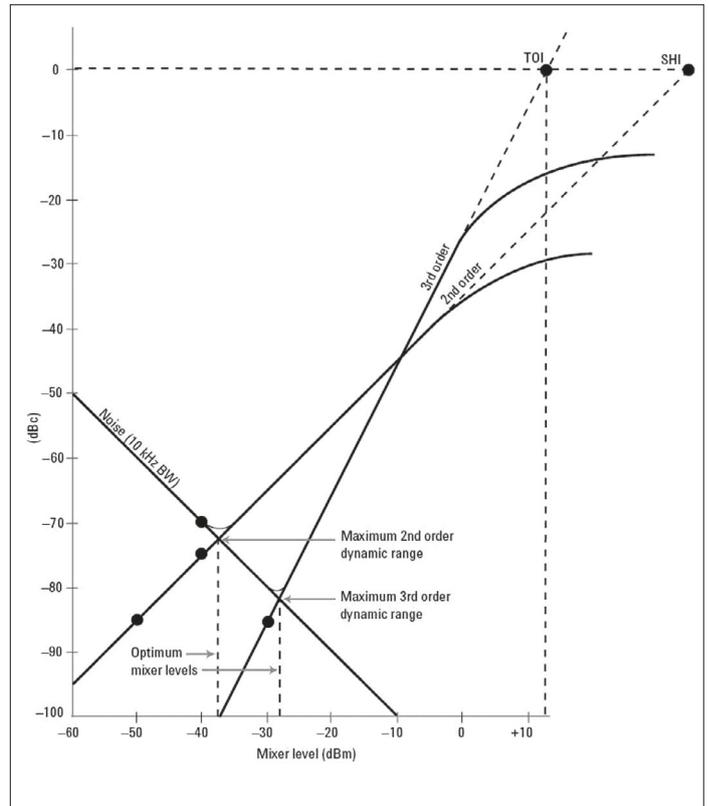
fung und Senkung der RBW bewirken eine Verbesserung. Falls diese noch nicht genügt, ist das Einschalten des internen Preamplifiers denkbar. Völlig falsch wäre es, eine Vordämpfung und eine Vorverstärkung zu kombinieren. Ebenso ungünstig ist die Kombination einer hohen Vordämpfung mit einer großen Bandbreite. Je geringer der DANL, umso geringer muss auch die Eingangs-Attenuation sein. Bild 5 zeigt das Ergebnis nach sukzessiver Verminderung des DANL. Die obere Spur zeigt das Signal über dem Rauschflur nach Minimierung der Resolu-

tion Bandwidth und Nutzung der Mittelung (Power Averaging). Die Spur, welche darunter liegt, macht deutlich, was geschieht, wenn man die Dämpfung minimiert. Die dritte Spur entstand mit logarithmischem Power Averaging; dies senkt den Rauschflur nochmals um 2,5 dB und ist sehr nützlich bei der Messung besonders kleiner Signale.

Für maximale Empfindlichkeit muss man einen Preamplifier mit geringem Rauschen und hoher Verstärkung einsetzen. Der gesamte Rauschflur wird dann vom Eigenrauschen des Vorverstärkers mitbestimmt,



**Bild 8:** Wenn das Phasenrauschen in 10 kHz Abstand zum Träger lediglich -80 dBc beträgt, dann sind 80 dB das ultimative Limit für den Dynamikbereich bei dieser Messung, während ohne Phasenrauschen 88 dB möglich wären



**Bild 7:** Darstellung der mit -75 dBc auftretenden Verzerrungen zweiter Ordnung bei -40 dBm Mischerpegel und der mit -85 dBc auftretenden Verzerrungen dritter Ordnung bei -30 dBm Mischerpegel sowie eines Rauschflurs von -110 dBm in 10 kHz RBW

wobei man sagen kann, dass ab 10 dB Verstärkung der Preamplifier allein das angezeigte Rauschen bestimmt. Oft ist es erforderlich, die unerwünschten Signale (Störsignale, Spurious Signals) eines Testobjekts zu messen, um abzusichern, dass das Nutzsignal im Vergleich dazu vorgeschriebene Abstände (Frequenz und Amplitude) einhält. Moderne Spektrumanalysatoren besitzen die Fähigkeit, entsprechende Vergleiche selbst vorzunehmen (Electronic Limit Line Capability). Diese steckt hinter Anzeigemöglichkeiten wie PASS MARGIN oder PASS LIMIT bzw. FAIL MARGIN (Bild 6) oder FAIL LIMIT.

## Optimierung des Dynamikbereichs bei Verzerrungsmessungen

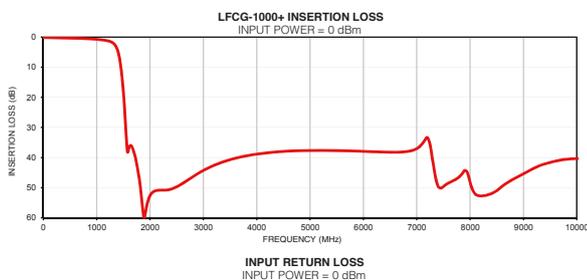
Bei einer guten Messung werden die Verzerrungsprodukte (besonders Obertöne) eines Signals klar von dessen Grundton getrennt. Je kleiner die Verzerrungsprodukte gegenüber dem Signal

sind, umso mehr wird das Messgerät dabei herausgefordert. Der maximale Bereich, in dem der Spectrum Analyzer noch zwischen Signal und Verzerrungsprodukten (oder auch Signal und Rauschen) unterscheiden kann, wird als Dynamikbereich spezifiziert. Beim Messen von Signal und Verzerrungen diktiert der Mischerpegel den Dynamikbereich des Spectrum Analyzers. Der zur Optimierung des Dynamikbereichs eingesetzte Mischerpegel kann von den Verzerrungsprodukten zweiter Ordnung bestimmt werden oder von der Differenz zwischen Grundton und Verzerrungsprodukten. Jede Veränderung des Mischerpegels um 1 dB ändert die Verzerrungsprodukte dritter Ordnung um 3 dB bzw. den Unterschied um 2 dB. Daher gibt es einen Dynamikbereich zweiter und dritter Ordnung. Das Maximum lässt sich hier erreichen, wenn man den Mischer so einstellt, dass die Verzerrungen zweiter und dritter Ordnung auf dem Niveau

# LTCC FILTERS



- ▶ New reduced size models (0805)
- ▶ Insertion loss as low as 0.8 dB
- ▶ Higher rejection rate, up to 45 dB
- ▶ Over 230 models **in stock!**



 **Mini-Circuits®**



[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 [sales@minicircuits.com](mailto:sales@minicircuits.com) 599 Rev Orig\_P

## DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

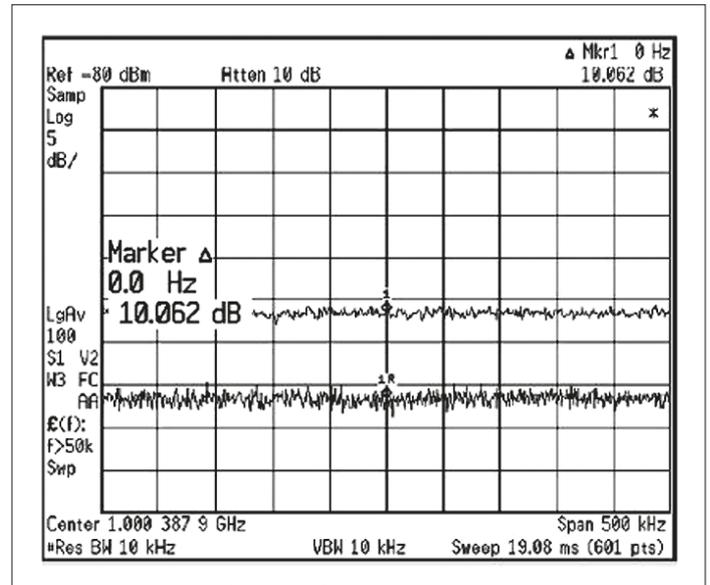
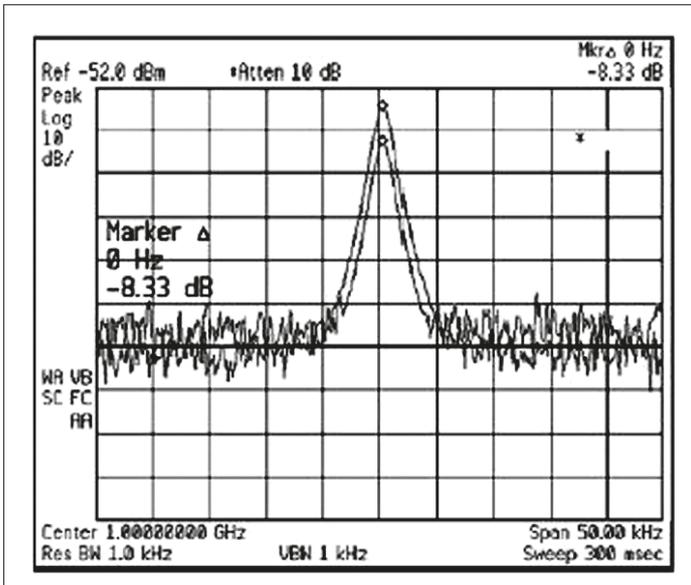
D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
[www.ie4u.de](http://www.ie4u.de)  
[anfrage@ie4u.de](mailto:anfrage@ie4u.de)

**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](mailto:info@municom.de) [www.municom.de](http://www.municom.de)



**Bild 9:** Falls sich Darstellungen unterscheiden, wie hier, dann generiert der Mischer Verzerrungsprodukte

**Bild 10:** Eine Änderung um Faktor 10 bei der RBW bewirkt eine Änderung von 10 dB bei der Empfindlichkeit

des Rauschflurs liegen. Diese Mischerpegel lassen sich in der Gerätebeschreibung bei den Spezifikationen zum Displayed Average Noise Level (DANL) finden. Ausgehend von diesen Spezifikationen lässt sich eine Grafik der intern generierten Verzerrungen erstellen, aus der auch hervorgeht, wie sich das Rauschen gegenüber dem Mischerpegel verhält.

pegel und die mit -85 dBc auftretenden Verzerrungen dritter Ordnung bei -30 dBm Mischerpegel sowie einen Rauschflur von -110 dBm in 10 kHz RBW dar. Die Linie der Verzerrungen zweiter Ordnung wurde mit einer Steigung von 1 gezeichnet, denn mit jedem Anstieg des Pegels der Grundwelle von 1 dB steigen diese mit 2 dB. Die Verzerrungen dritter Ordnung würden mit 3 dB steigen. Wenn jedoch die Verzerrungen über den Unterschied zwischen Grundwelle und Verzerrungsprodukt bestimmt wer-

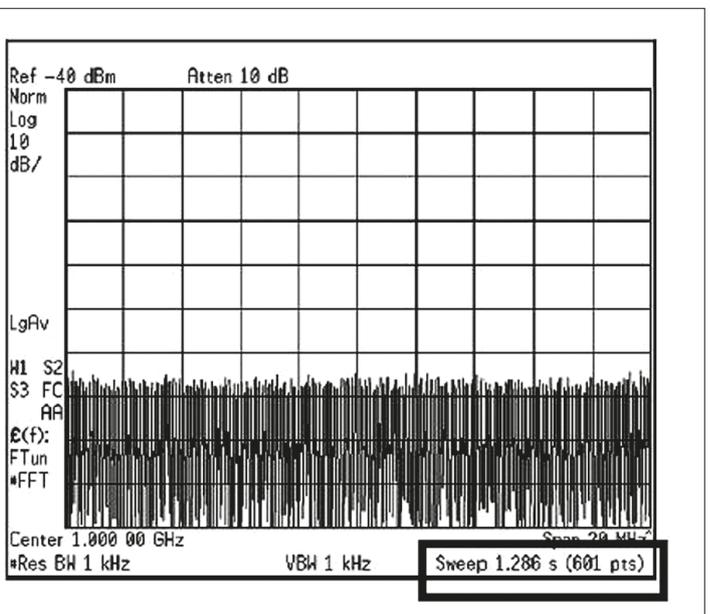
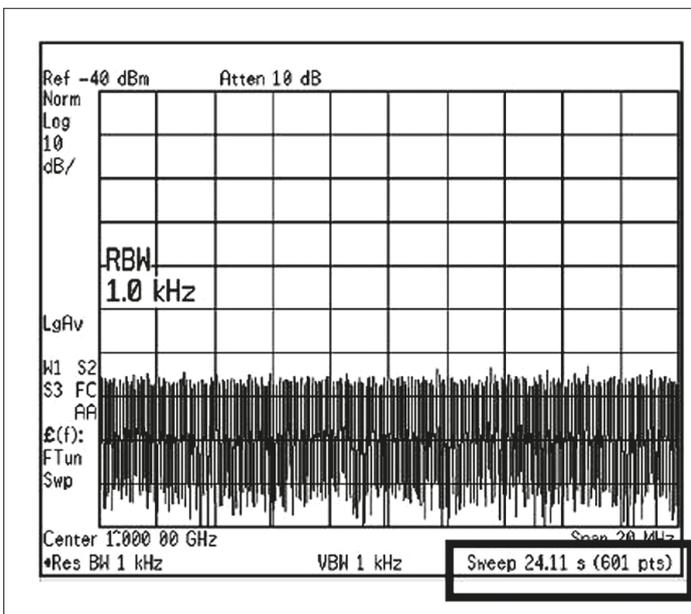
den, beträgt die Änderung nur 1 dB (zweite Ordnung) bzw. 2 dB (dritte Ordnung). Entsprechend sind die Verzerrungen dritter Ordnung mit einem Anstieg von 2 gezeichnet.

width verkleinern. Schaltet man z.B. von 10 auf 1 kHz, so erhält man Verbesserungen um 5 dB bzw. 6 dB.

Der maximale Dynamikbereich wird jeweils erreicht, indem man die Verzerrungspegel auf das Niveau des Rauschens absenkt. Die entsprechenden Mischerpegel lassen sich der Grafik entnehmen. Um den Dynamikbereich noch weiter zu erhöhen, muss man die Resolution Band-

Schließlich kann der Dynamikbereich für Intermodulationsverzerrungen auch vom Phasenrauschen des Spektrumanalysers beeinträchtigt werden, weil der frequenzmäßige Abstand zwischen den verschiedenen spektralen Komponenten (Testtöne und Verzerrungsprodukte) gleich ist dem Abstand der Testtöne. Wenn etwa das Phasenrauschen

Bild 7 stellt die mit -75 dBc auftretenden Verzerrungen zweiter Ordnung bei -40 dBm Mischer-



**Bild 11:** Im FFT-Modus beträgt die Durchlaufzeit für einen 20-MHz-Span und 1 kHz RBW nur 747 ms im Vergleich zu 24 s im normalen Sweep Mode

# PASSIVE PRODUCTS



**NOW**  
up to

# 65 GHz

**Adapters • Attenuators • Couplers  
DC Blocks • Splitters • Terminations**

 **Mini-Circuits®**



[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com 593 RevOrig\_\_P

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL GMBH**  
ELECTRONICS

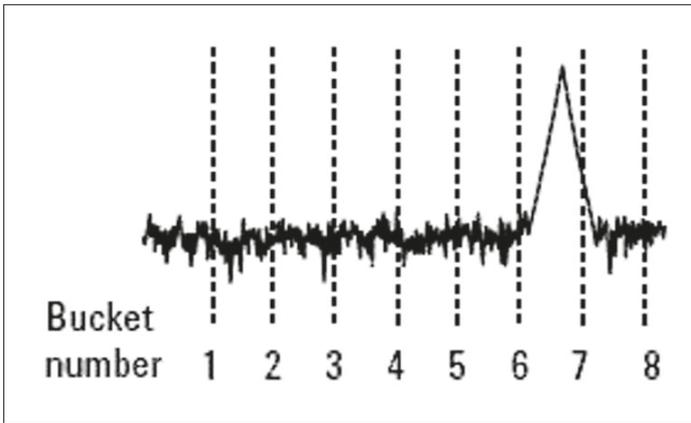
D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
[www.ie4u.de](http://www.ie4u.de)  
anfrage@ie4u.de

**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](http://www.municom.de)



**Bild 12:** Ein Analyzer speichert die Daten in „Eimern“ (Buckets)

in 10 kHz Abstand zum Träger lediglich -80 dBc beträgt, dann sind 80 dB das ultimative Limit für den Dynamikbereich bei dieser Messung, während ohne Phasenrauschen 88 dB möglich wären, siehe Bild 8.

## Identifizierung interner Verzerrungsprodukte

Starke Eingangssignale können im Spectrum Analyzer selbst Verzerrungsprodukte hervorrufen, welche die realen Verzerrungen des Signal verdecken können. Durch Nutzung von zwei Spuren und den Einsatz des Attenuators kann man diesem Störeffekt entgegenwirken und feststellen, in welchem Maße der Analyzer selbst verzerrt. Ein

guter Richtwert für den Start ist eine Dämpfung, welche auf etwa -30 dBm Signalstärke nach dem Attenuator führt. Zur Identifizierung der analysatoreigenen Verzerrungsprodukte kann man auf die zweite Harmonische des Eingangssignals abstimmen und den Attenuator auf 0 dBm stellen. Dann werden die Schirmdaten in Spur B gesichert, und man wählt Spur A als aktive Spur aus und aktiviert Marker A. Der Spektrumanalysator zeigt jetzt die gespeicherten in Spur B und die gemessenen Daten in Spur A, während der Marker A über die Amplituden- und Frequenzdifferenz zwischen den beiden Spuren informiert. Schließlich erhöht man die Dämpfung um 10 dB und vergleicht die Darstel-

lungen in Spur A mit der in Spur B. Falls diese Wiedergaben sich unterscheiden, wie etwa in Bild 9, dann generiert der Mischer des Spektrumanalysators Verzerrungsprodukte infolge des hohen Pegels des Eingangssignals. In diesem Fall ist Vordämpfung erforderlich.

## Optimierung der Messgeschwindigkeit bei der Erfassung von Transienten

Schnelle Durchläufe (Sweeps) sind wichtig für die korrekte Erfassung von Transienten sowie zur Minimalisierung der Testzeit. Um die Performance des Spektrumanalysators in Richtung schnellerer Sweeps zu verbessern, muss man die entsprechenden Einstellungen optimieren. Die Durchlaufzeit bei einem analogen Superheterodyne-Spectrum-Analysator ergibt sich in etwa, indem man den Span durch das Quadrat der Resolution Bandwidth (RBW) dividiert. Daher haben RBW-Einstellungen einen enormen Einfluss auf die Durchlaufzeit. Schmalere RBW-Filter bewirken längere Durchlaufzeiten, sodass es hier zu einem Missverhältnis zwischen Sweep-Geschwindigkeit und Empfindlichkeit kommt. Wie in Bild 10

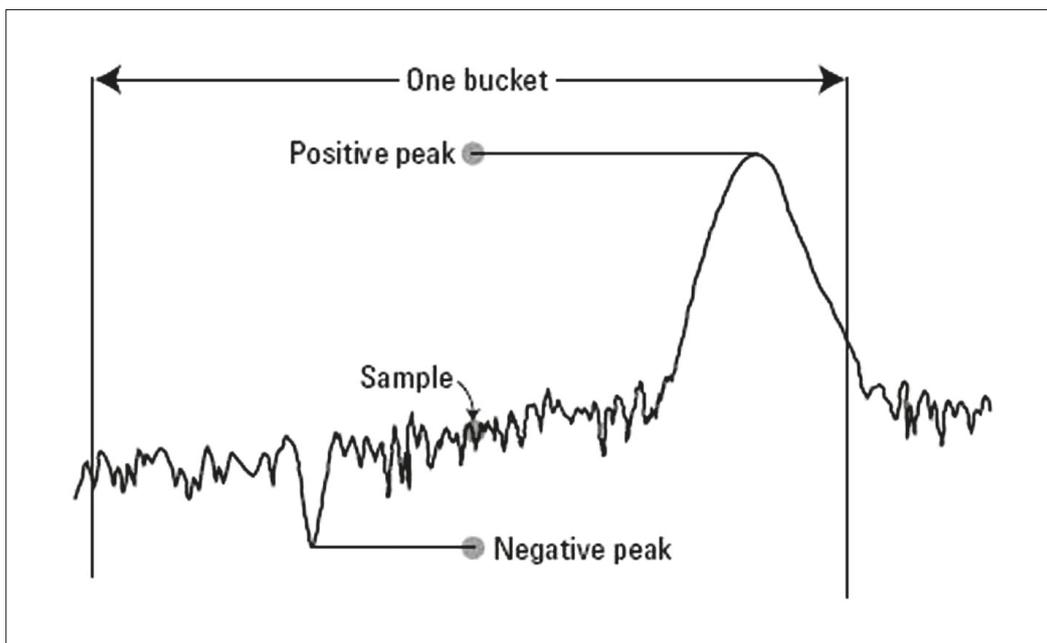
dargestellt, bewirkt eine Änderung um den Faktor 10 bei der RBW eine Änderung von 10 dB bei der Empfindlichkeit.

Bei modernen High-Performance-Spektrumanalysatoren lässt sich die RBW in kleinen Schritten verändern, um die erforderliche Sweep-Geschwindigkeit und/oder Empfindlichkeit recht genau zu erreichen. Eine gute Balance zwischen Durchlaufzeit und Empfindlichkeit ermöglicht die Fast Fourier Transformation (FFT), welche moderne High-Performance-Analysatoren anbieten. Dabei ist der Analyzer in der Lage, den gesamten Span in einem Messzyklus zu erfassen. Bei Nutzung der FFT-Analyse wird die Durchlaufzeit vom Frequenz-Span statt von der RBW-Einstellung bestimmt. Daher sichert man sich mit dem FFT-Modus kürzere Durchlaufzeiten als im normalen Modus bei kleinen Spans. Der Unterschied in den Geschwindigkeiten tritt stärker hervor, wenn das RBW-Filter schmal ist, also für die Messung kleiner Signalpegel. Im FFT-Modus beträgt die Durchlaufzeit für einen 20-MHz-Span und 1 kHz RBW nur 747 ms im Vergleich zu 24 s im normalen Swept Mode, wie in Bild 11 dargestellt. Für viel breitere Spans und größere RBWs ist allerdings der Swept Mode schneller.

## Auswahl des besten Anzeigemodus

Moderne Spectrum Analyzer digitalisieren das Signal entweder auf ZF-Ebene oder nach dem Videofilter. Die Wahl der Art und Weise, wie das digitalisierte Signal schließlich angezeigt wird, hängt vom Displaydetektor nach dem ADC ab. Ähnlich wie bei einer traditionellen Eimerkettenschaltung werden auch hier Daten in „Eimern“ (Buckets) gespeichert (Bild 12), und die Festlegung, welche anzuzeigenden Daten in jedem Bucket hinterlegt werden, wird beeinflusst durch den Anzeigedetektierungsmodus.

Die Wirkungen von Positive-Peak, Negative-Peak und Sam-



**Bild 13:** Illustration von Positive-Peak-, Negative-Peak- und Sample-Detektoren

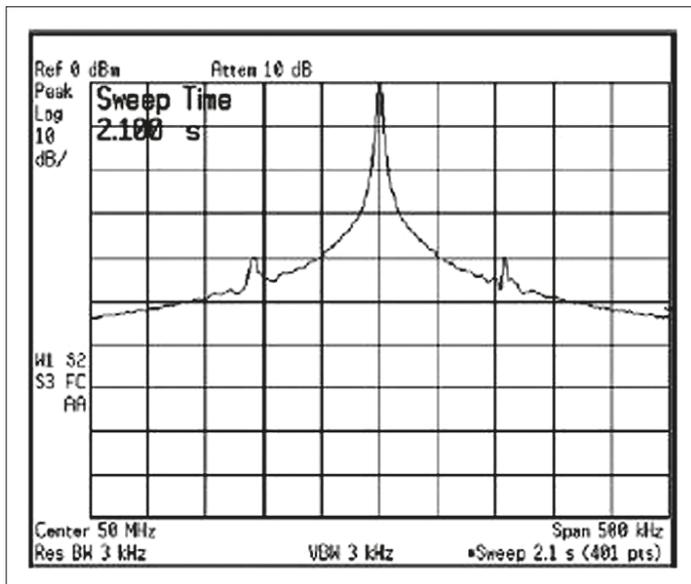


Bild 14: Aufnahme ohne Time-Gating

ple-Detektoren sind in Bild 13 gezeigt. Erster konzentriert sich auf den höchsten Pegel in jedem Bucket und ist eine gute Wahl, um Sinussignale zu analysieren, tendiert aber zur Überbetonung von Störungen wie Rauschen. Es ist der schnellste Detektionsmodus. Die Variante Negative Peak zeigt den kleinsten Pegel in jedem Bucket. Dies ist gut bei AM oder FM und lässt gut zwischen zufälligen und impulsartigen Störungen unterscheiden. Sample Detection konzentriert sich auf den Mittelpunkt in jedem Bucket, unabhängig von der Signalleistung. Sample Detection ist gut geeignet für Messungen von Störungen und Rauschen und indiziert genau den Grad der Zufälligkeit dieser Beeinträchtigungen, ist aber ungenau, wenn es um die Messung von CW-Signalen bei geringer Auflösungsbreite geht und kann Signale „übersehen“, die nicht auf den selben Punkt in jedem Bucket fallen. Der Sampling-Modus klassifiziert die Datenpunkte dynamisch entweder als Störung oder Signal, was zu einer besseren visuellen Darstellung von zufälligen Störungen als bei der Peak-Detektierung führt.

Mittelwert-Detektierung (Average Detection) konzentriert sich auf die mittlere Leistung in jedem Bucket. Dabei kommt der

echte Effektivwert zur Anzeige. Diese Darstellung ist am besten für die Messung der Leistung von komplexen Signalen geeignet. Voltage Averaging bringt den linearen Verlauf der Signalspannung auf den Bildschirm, gemessen während der Bucket-Intervalle. Dies wird oft beim EMI-Test genutzt und ist auch sinnvoll beim Beobachten des Anstiegs- und Abfallverhaltens bei AM oder bei pulsmodulierten Signalen wie etwa beim Radar oder bei TDMA-Sendern. Der Modus Log-Power (Video) Averaging bildet den Mittelwert der logarithmisch erfassten Amplitudenwerte (Pegel in dB) der Hüllkurve des Signal, ebenfalls gemessen während der Bucket-Intervalle. Log-Power Averaging ist dazu geeignet, um auf beste Weise Sinussignale zu untersuchen, besonders solche, die nahe am Rauschen liegen, denn das angezeigte Rauschen liegt hier 2,5 dB niedriger als der echte Effektivwert, sodass ein verbessertes SNR für die spektrale Anzeige (Oberwellen etc.) zustande kommt.

### Burst-Signale messen: Time-Gated Spectrum Analysis

Wie soll man ein Signal analysieren, welches einen Burst (HF-Impuls) darstellt und moduliert ist? Wie separiert man dabei die

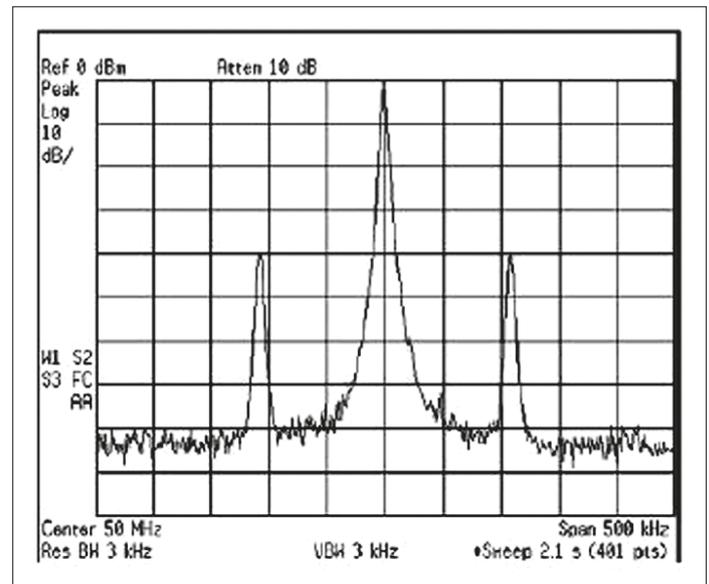


Bild 15: Aufnahme mit Time-Gating

Spektrumanalyse des Impulses von der Analyse der Modulation? Die Analyse von solchen Signalen mit einem Spectrum Analyzer ist sehr herausfordernd, weil zusätzlich zur Darstellung der Information, welche der HF-Impuls enthält (Modulation) vom Gerät auch noch das Frequenzspektrum entsprechend der Steilheit des Impulses (die Pulse Envelope) angezeigt wird. Die kurzen Anstiegs- und Abfallzeiten der Pulse Envelope bedeuten hier unerwünschte Frequenzanteile. Diese können dermaßen störend sein, dass eine ordentliche Messung der interessierenden Eigenschaften verhindert wird. Bild 15 bringt ein entsprechendes Beispiel in Form eines gepulsten einfachen AM-Signals. Dabei werden die Seitenbänder komplett vom Impulsspektrum verdeckt.

Hier hilft die Time-Gated-Spektrumanalyse weiter. Sie erlaubt die Darstellung des Modulationsinhalts des Impulses ohne den Verdeckungseffekt der Pulse Envelope. Ein Weg, um diese Darstellungs-Spielart anzuwenden, besteht darin, ein Gate (in Form eines Schalters) in den Video-Pfad des Spectrum Analyzers einzubringen. Man spricht von Gated Video. Bild 15 beweist, dass diese Methode gut funktioniert. Moderne High-Performance-Spektrumanalysatoren

bieten noch zwei weitere Möglichkeiten der Implementierung einer Time-Gated-Analyse, nämlich Gated-LO und Gated-FFT. Gated-LO bewirkt einen Sweep der Frequenz des lokalen Oszillators während der Erfassung des Impulses, während Gated-FFT eine schnelle Fourier-Transformation des digitalisierten Burst-Signals vornimmt.

### Empfohlene Literatur:

- Spectrum Analysis Basics, Application Note 150, literature number 5952-0292
- Optimizing Spectrum Analyzer Measurement Speed, Application Note 1318, literature number 5968-3411E
- Optimizing Dynamic Range for Distortion Measurements, Product Note, literature number 5980-3079EN
- Optimizing Spectrum Analyzer Amplitude Accuracy, Application Note 1316, literature number 5968-3659E
- Selecting the Right Signal Analyzer for Your Needs, Selection Guide, literature number 5968-3413E
- PSA Series Swept and FFT Analysis, Product Note, literature number 5980-3081EN

## All-in-One-Lösung für 400GbE-PAM4-BER-Messungen

**PAM4 One Box Test Solution**

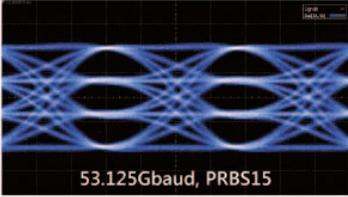
Emphasis 4Tap, 20dB



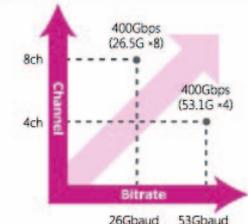
Jitter/Noise Addition

Built-in Clock Recovery

Jitter Tolerance Test

**Highest Level Waveform Quality**


53.125Gbaud, PRBS15

**Next-Generation Terabit**


Die Anritsu Corporation gab die Markteinführung ihres 64-Gbaud-PAM4-Puls-Pattern-Generators (PPG) und 32-Gbaud-PAM4-Error-Detektors (ED) bekannt. Die neuen Module für den Anritsu SQA-R MP1900A Signal Quality Analyzer ermöglichen Messungen mit bis zu 400G für Next-Generation-Breitband-Kommunikationssysteme mit Best-in-Class-Signalqualität und einer exzellenten Empfindlichkeit des Empfängers.

Die Erweiterung von Mobilfunk- und Cloud-Diensten, speziell in 5G, sorgt für eine sehr starke Zunahme des Datenverkehrs. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden,

untersuchen Infrastrukturbetreiber, wie z.B. Datacenter, Technologien zur Verbesserung bei Geschwindigkeit und Datendurchsatz, etwa in PAM4- und Multilane-Kommunikationssystemen. Bereits jetzt kommen 400G-Systeme zum Einsatz, welche entweder als 26.5625 Gbaud-PAM4 x 8-Lanes oder als 53.125 Gbaud-PAM4 x 4-Lanes realisiert werden.

Für diese Anwendungen hat Anritsu den 64-Gbaud-PAM4-Puls-Pattern-Generator entwickelt, der mit der besten Signalpegelqualität seiner Klasse aufwartet. Zusammen mit dem neuen 32-Gbaud-PAM4-Errordetektor mit exzellenter Rx-Empfindlichkeit wird die

Weiterentwicklung von Komponenten und Geräten zur Übertragung großer Datenmengen bei höchster Geschwindigkeit unterstützt.

Im Vergleich zu NRZ-Signalen verringert sich bei PAM4 mit seinen vier Amplituden nicht nur der Abstand zwischen den einzelnen Amplituden auf ein Drittel, sondern auch der Abstand zwischen den Flanken. In der Folge reduziert sich die Marge bei der Abtastung eines PAM4-Signals auf der Empfängerseite. Umso wichtiger ist die Generierung eines sauberen PAM4-Signals.

Die verschlechterte Signalqualität am Empfänger, verursacht u.a. durch Leitungsverluste, Übersprechen oder Rauschen, erfordert eine bestmögliche Empfindlichkeit des Error-Detektors.

Der SQA-R MP1900A ist ein Bitfehlerraten-Tester der Spitzenklasse für 400G und höher. Er unterstützt sowohl die Erzeugung als auch die Fehleranalyse schneller Datensignale. Der neue 64-Gbaud-PAM4-Puls-Pattern-Generator hat die weltweit besten Werte sowohl für Anstiegs-/Abfallzeiten (20% bis 80%) von 8,5 ps (typisch) als auch für den Eigenjitter von nur 170 fs (typisch). Pro Gerät können bis zu vier Kanäle betrie-

ben werden. Die integrierte Pre-/Deemphasis-Funktion ermöglicht eine kontrollierte Vorverzerrung des generierten Signals.

Das 32-Gbaud-PAM4-Fehlerdetektor-Modul verfügt über eine hohe Empfindlichkeit von 23 mV (typisch) und optional über eine Taktrückgewinnung. Beides ist für die Messung der Empfindlichkeit von Empfängern sowie für PAM4-Symbolfehlermessungen erforderlich.

Im Ergebnis lässt sich die wirkliche Performance von optischen 400GbE-Modulen und -Komponenten testen – mit ausreichender Marge und den Spezifikationen entsprechend. Damit lassen sich Schwierigkeiten bei der exakten Evaluierung von Prüflingen vermeiden, welche mit unzureichender Signalqualität zusammenhängen. Außerdem verkürzt die Erweiterbarkeit auf mehrere Kanäle die Messzeiten, indem mehrere Lanes gleichzeitig gemessen werden. Zudem lassen sich problemlos Funktionen zum Generieren von Jitter und Rauschen hinzufügen und damit eine All-in-One-Testlösung zur Prüfung der Empfindlichkeit von Empfängern für höchste Entwicklungs- und Testeffizienz konfigurieren.

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

## Innovative ESD-Prüfpistole

Der ESD-Test nach IEC/EN 61000-4-2 untersucht Störungen durch elektrostatische Entladungen, die durch große Potentialdifferenzen entstehende Spannungsdurchschläge erzeugen. Durch den triboelektrischen Effekt lädt sich der menschliche Körper durch Reibung auf. Durch die Berührung von leitenden Gegenständen wird schlagartig ein Potentialausgleich geschaffen. Hohe Ladenspannungen und heftige Entladeströme im ns-Bereich sind möglich. Dabei fließt Strom und es entstehen E- und H-Felder. Die innovative Prüfpistole Onyx von Haeffly ist ausgezeichnet geeignet für ESD-



Impulse nach IEC/EN 61000-4-2 mit 16 oder 30 kV. Weil die Bedien- und Steuereinheit in der Pistole verbaut ist und der Betrieb über Akku erfolgt, ist endlich eine einfache und problemlose Nutzung einer ESD-Pistole an allen Arten und Größen von Teststandorten möglich. Mit einem passenden Prüftisch und einem normgerechten Prüfaufbau lassen sich so ganz einfach ESD-Tests an Geräten im eigenen EMV-Labor durchführen.

■ *EMCO Elektronik GmbH*  
[info@emco-elektronik.de](mailto:info@emco-elektronik.de)  
[www.emco-elektronik.de](http://www.emco-elektronik.de)

## 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  
Zeit- & Frequenzzähler  
Netzwerkanalysatoren  
Spektrumanalysatoren  
Leistungsmessköpfe  
HF-Schaltfelder



### EMV-ZUBEHÖR

LWL-Übertragungsstrecken  
Abschlusswiderstände  
Adapter & HF-Kabel  
Netznachbildungen  
Dämpfungsglieder  
Richtkoppler



## Handheld-Spektrumanalysator besticht im direkten Vergleich



Narda STS hat auf seinem YouTube-Kanal ein Vergleichsvideo veröffentlicht

Wie schlagen sich die besten aktuell auf dem Markt befindlichen Handheld-Spektrumanalysatoren und Funkempfänger in einem direkten Vergleichstest? In einem fairen und neutralen Contest unter analogen Bedingungen. Und vor allem: Welches Gerät hat in Schlüsseldisziplinen wie „Sensitivity“ und „Harmonics“, „Intermodulation“ und „Dynamic Range“ die Nase vorn?

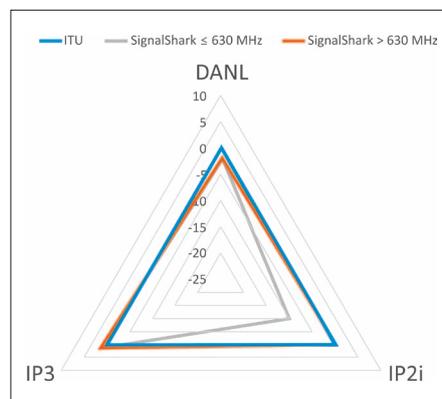
### Vergleichsvideo

Auf seinem YouTube-Kanal hat Narda STS jetzt ein Vergleichsvideo veröffentlicht, einen 20-minütigen Lehrfilm, der in Bild und Ton keine Antwort auf diese Fragen schuldig bleibt. Über detaillierte Testergebnisse und Versuchsbedingungen hinaus liefert der Videoclip anschaulich wertvolle Zusammenhänge und Erläuterungen einer der komplexesten Messtechnikdisziplinen. Nardas SignalShark fordert etablierte Referenzgeräte in einer analytischen Versuchsreihe heraus: Im Wettstreit gegen den jüngsten Realtime-Handheld-Analyzer auf dem Markt zu sehen sind der Spectrum Master von Anritsu, der H500/600 von Tektronix sowie der PR100/DDF007 von Rohde & Schwarz. Einfach „test narda signalshark“ in die Suchmaske unter „Videos“ eingeben.

40 MHz Echtzeit-Bandbreite in einem Handheld, der Dynamikumfang eines Benchtop-Geräts sowie ein Eigenrauschen, IP2 und IP3 auf ITU-Messempfänger-Niveau. Unterm Strich belegt Nardas aktuelles Flaggschiff mit Abstand den ersten Platz. Die positiven Resultate bei weiteren Parametern wie „RF- Performance“ und

„Messgeschwindigkeit“, „Eingangsdämpfung“ und „Detektion“ unterstreichen die Überlegenheit des SignalShark im Rahmen der Testreihe, deren Resultaten jederzeit fachlich überprüft und wissenschaftlich rekapituliert werden können. Der Mehrwert des Beitrags liegt auch in der inhaltlichen Tiefe sämtlicher Erklärungen. So wird der Zuschauer nie mit den nackten Ergebnissen alleingelassen. Für ein besseres Verständnis erklärt der Referent Schritt für Schritt wichtige Details zu Systematik und Besonderheiten der durchgeführten Erhebungen. Ferner erläutert er geduldig elementare Zusammenhänge der RF-Messtechnik.

■ Narda Safety Test Solutions GmbH  
info.narda-de@l3t.com  
www.narda-sts.com



Die grafische Darstellung der ITU-Empfehlung zum idealen Receiver ist nahezu deckungsgleich mit den angegebenen Datenblattwerten zum Dynamikumfang des SignalShark

## Lösungen für Interoperabilität und Performance bei Automotive Ethernet und C-V2X

**Keysight Technologies hat neue Lösungen für die Cellular-Vehicle-to-Everything-Kommunikation (C-V2X) sowie eine fortschrittliche Automotive-Ethernet-Lösung angekündigt, um die sich entwickelnden Industriestandards zu adressieren und die Interoperabilität unterschiedlicher Komponenten zu gewährleisten.**

Die „Fahrzeug-zu-Alles“-Kommunikation bezieht sich auf das Kommunikationssystem eines Fahrzeugs, in dem Informationen von Sensoren und anderen Quellen durch Verbindungen mit hoher Bandbreite, geringer Latenz und hoher Zuverlässigkeit übertragen werden und den Weg für ein völlig autonomes Fahren ebnen. C-V2X kommuniziert mit einem Mobilfunknetz für cloud-basierte Dienste wie Navigation und Infotainment und verbindet Fahrzeuge über eine direkte Verbindung miteinander (V2V), mit Fußgängern (V2P), mit Infrastruktur (V2I) und mit dem Netzwerk (V2N).

Eine der größten Herausforderungen beim Test von C-V2X-Lösungen und -Komponenten ist es, ständig mit der Entwicklung der Standards Schritt zu halten. Dies erfordert Testlösungen, die immer auf dem neuesten Stand der Entwicklung der C-V2X-Anforderungen sind, einschließlich zukünftiger Releases, die 5G New Radio (5G NR) beinhalten. Das C-V2X-Toolset von Keysight ist eine Lösung, die den sich entwickelnden C-V2X-Standard in Bezug auf Hochfrequenz-, Protokoll- und Applikationstests verfolgen kann. Die zukunftssichere 5G-NR-V2X-Plattform auf Basis der Spezifikationen des 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Release 16, schützt Investitionen und beschleunigt die Einführung neuer Technologien, um erweiterte Sicherheitsfunktionen zu ermöglichen.

Das Keysight-C-V2X-Toolset bietet Entwicklern:

- Einhaltung der Spezifikationen für 3GPP, Release 14
- intuitive Benutzeroberfläche zur Vereinfachung der C-V2X-Messungen (Protokoll und RF)
- Emulator für ein globales Navigationssatellitensystem (GNSS) zum Erzeugen von Signalen für realistisches GNSS

- 5G-NR-Messplattform zum Schutz der Anfangsinvestitionen und zur Beschleunigung der Einführung neuer Technologien, die erweiterte Sicherheitsfunktionen ermöglichen
- Grundlage für den C-V2X-Konformitätstest

Keysight ist stark in der Entwicklung von Komplettlösungen für Automotive-Ethernet engagiert und bietet Lösungen für Compliance-Tests von Empfängern, Kabelbäumen und Steckverbindern sowie Sendern. Die neue Testanwendung für elektronische Steuergeräte (ECU) von Keysight deckt alle vier Normen ab, die die Ethernet-Plattform im Automobilbereich regeln: BroadR-Reach, IEEE 100BASE-T1, IEEE 1000BASE-T1 und die Open Alliance (One-Pair Ethernet) ECU-Spezifikationen. Die neue Software umfasst die Abdeckung des Media Dependent Interface Mode (MDI), der Umwandlungsverluste und der Common Mode-Emissionstests, die in der ECU-Testspezifikation Open Alliance Automotive Ethernet TC8 festgelegt sind. Keysight

unterstützt Designer und Hersteller der Automobilindustrie mit den neuesten Innovationen bei Design- und Testlösungen, um qualitativ hochwertige und leistungsstarke Produkte zu entwickeln und gleichzeitig Sicherheitsrisiken zu minimieren. So ermöglicht beispielsweise die neue Lösung Keysight E8740A Automotive Radar Signal Analysis and Generation es radarbasierten Fahrerassistenzsystemen, Kollisionsrisiken proaktiv zu erkennen und zu minimieren. Keysight verwendet diese Lösung in seinen Customer Care Centers für die Automobilindustrie, um verschiedene reale Bedingungen zu erzeugen und mögliche Radarprobleme mit Interferenzen zu lösen. Darüber hinaus bietet Keysight E-Mobility-Lösungen an, die verbesserte Batterieleistung und elektrische Antriebsstränge bieten. Diese Lösungen gewährleisten auch die Verfügbarkeit effizienter Ladestationen und eine verbesserte Energieumwandlung im gesamten Ökosystem der Elektromobilität, um die Reichweite von Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu erhöhen. ◀



„Das autonome Fahren kommt immer näher, und fortschrittliche LTE- und 5G-basierte Wireless-Technologien sind die wichtigsten technologischen Bausteine, um es zu verwirklichen“, sagt Siegfried Gross, Vice President und General Manager der Geschäftseinheit Automotive and Energy Solutions von Keysight. „Wir haben die breite Akzeptanz unserer 5G-fähigen drahtlosen Platt-

form und die Zusammenarbeit mit Chipsatzentwicklern und frühen Technologieanwendern genutzt, um hier ein umfassendes Angebot zu entwickeln. Dieses ermöglicht es C-V2X-Entwicklern, den Herausforderungen der Design- und Leistungs-Verifizierung auf dem Weg zum autonomen Fahren zu begegnen.“

Weitere Informationen zu den Automotive-Testlösungen von Keysight sind verfügbar unter [www.keysight.com/find/automotive](http://www.keysight.com/find/automotive).

Keysight, Inc.  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

# Neue Hochleistungs-Digital-Oszilloskope, Echtzeit-Spektrum-Analysatoren und Vector-Signal-Analyse-Software



**Rigol Technologies EU GmbH zeigt auf der embedded world in Nürnberg neben den bewährten Gerätefamilien auch eine Reihe aktueller Innovationen.**

## Hochleistungs-Digital-Oszilloskope

Zum Portfolio der Hochleistungs-Oszilloskope zählt die 2018 vorgestellte und umfassend ausgestattete Mixed-Signal-Digital-Oszilloskop-Serie MSO/DS7000, die auf der modernsten On-Chip ASIC-Technologie von Rigol basiert. Mit Bandbreiten von 100 MHz bis 500 MHz und Abtastraten von bis zu 10 GS/s ist diese Serie ideal geeignet für anspruchsvolle Anwendungen in der Forschung, Entwicklung und Produktion. Die Geräte verfügen über einen sehr großen 10,1“-Touch-Farb-Bildschirm zur übersichtlichen Signaldarstellung sowie zur optimalen Anzeige von Zusatzinformationen. Zur Erfassung und Verarbeitung von großen Messdatensätzen steht eine Speichertiefe von bis zu 500 Mio. Punkten zur Verfügung, und mit einer Signalerfassungsrate von bis zu 600.000 wfms/sek kann der Anwender schnelle Signalfolgen erfassen, darstellen und auswerten. Die schnelle Analyse und deren Darstellungsmöglichkeiten wurden durch den ultraschnellen ChipSet der neuesten

UltraVision-II-Architektur realisiert. Neu im Programm sind die Hochleistungs-Oszilloskope der Serie MSO5000 mit 9“-Farb-Touch-Bildschirm, deren Funktionsumfang etwas unterhalb der MSO7000-Serie angesiedelt ist. Mit Bandbreiten von 70 MHz bis 350 MHz und Abtastraten bis 8 GS/s sind diese Oszilloskope die kostengünstigere Lösung für etwas weniger anspruchsvolle Anwendungen, für die eine Speichertiefe von bis zu 200 Mio. Punkten und Signalerfassungsraten bis zu 500.000 wfms/sek ausreichend sind.

Als besonderes Highlight wird Rigol zur Messe das Spitzen-Oszilloskop MSO8000 präsentieren, das mit Bandbreiten von 600 MHz bis 2 GHz und einer Vielzahl höchst leistungsfähiger Funktionen aufwartet. Prädestiniert ist dieses Gerät für Hochgeschwindigkeits-Signalanalysen in allen High-tech-Branchen.

## Spektrum-Analysatoren

Die Echtzeit-Spektrum-Analysatoren der Serie RSA5000 basieren auf der von Rigol neu entwickelten Technologie „Ultra Real“, wobei die damit neu

geschaffene komplette Plattform es unter anderem möglich macht, Echtzeitmessungen durchzuführen. Besonders zeichnet sich die Serie RSA5000 durch ihre kompakte, elegante Bauweise, die Bedienung über Touchscreen und ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten aus. Durch einen zusätzlichen 3.2/6,5-GHz-Tracking-Generator lässt sie sich auch als „skalarer“ Netzwerkanalyzer nutzen.

Mit der modular aufgebauten RSA5000-Serie stehen dem Anwender vier Funktionen zur Verfügung:

- GPSA – Spektrum-Analysator mit herausragender Performance
- RTSA – Echtzeit-Spektrum-Analysator bis zu einer maximalen Bandbreite von 40 MHz
- EMI – Pre-Compliance-Tests nach CISPR-Vorgaben (mit der Software S1210)
- VSA – Digitale Demodulation (Option geplant in Q1/2019)

Außerdem wird Rigol die Vector-Signal-Analyse-Software VSA für die Gerätefamilie RSA5000 präsentieren, die ebenfalls ab Q1 2019 lieferbar sein wird. Diese in die Signalanalytoren integrierte Mess-Applikation wird auch als Upgrade für bestehende Geräte der RSA5000-Familie verfügbar sein. Dem Anwender steht mit der VSA-Applikation ein umfassendes Werkzeug für die Demodulation und Vektorsignalanalyse zur Verfügung, um Probleme in Zeit-, Frequenz- und Modulationsdomänen zu finden. ◀



Halle 4 Stand 528

Rigol Technologies, Inc.  
www.rigol.com

**CelsiStrip®**

**Thermoetikette registriert**  
**Maximalwerte durch**  
**Dauerschwärzung.**  
**Bereich von +40 ... +260°C**  
**GRATIS** Musterset von [celsi@spirig.com](mailto:celsi@spirig.com)  
Kostenloser Versand ab Bestellwert  
EUR 200 (verzollt, exkl. MwSt)

[www.celsi.com](http://www.celsi.com) [www.spirig.com](http://www.spirig.com)

# EMF-Sicherheitsoffensive bietet attraktive Messtechnik-Pakete

Narda Safety Test Solutions hat für zuverlässige Sicherheitsmessungen in elektromagnetischen Feldern (EMF) zwei leistungsfähige Messtechnik-Pakete geschnürt, die es in vielerlei Hinsicht in sich haben.



**EMF-Umweltschutz-Paket aus EHP-50F und NBM-550 (links) und das EMF-Arbeitsschutz-Paket aus ELT-400 und NBM-550 (rechts) – jeweils mit einer Hochfrequenzsonde nach Wahl**

Flexibel und maßgeschneidert für schier alle denkbaren Applikationen und Erfordernisse, einmal gezielt im Umwelt- und einmal speziell im Arbeitsschutzbereich, bedienen ihre praxisorientierten Vorzüge höchste technologische Ansprüche. Auch preislich lassen beide Pakete – bestehend jeweils aus einem Gerät für die Nieder- und einem für die Hochfrequenz sowie einer HF-Sonde – kaum Wünsche offen.

Schnell wachsende Datenraten, die per Funk auf den zur Verfügung stehenden Frequenzbändern übertragen werden, verursachen immer höhere Signaldichten in unserer Umwelt. Und in puncto Arbeitsschutz ist zudem die EMF-Richtlinie („Workers Directive“) seit dem 1. Juli 2016 auch in Europa rechtlich bindend. Seither zwingt sie Unternehmen dazu, nachweislich geeignete EMF-Sicherheitsmessungen zum Schutz ihrer Beschäftigten durchzuführen und gegebenenfalls Schutzmaßnahmen zu initiieren. Als der weltweit führende Anbieter qualitativ hochwertiger RF-Messtechnik-Lösungen trägt Narda mit seinen beiden durchdacht zusammengestellten EMF-Power-Paketen dieser Entwicklung und den daraus erwachsen-

den gestiegenen Anforderungen an die Sicherheitsmesstechnik Rechnung.

Wird ein Messtechniker beauftragt, die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern unter die Lupe zu nehmen, sind all zu oft Überraschungen programmiert. Nicht selten liegen Welten zwischen einem geschilderten, mitunter subjektiv empfundenen Problem und der messtechnischen Realität vor Ort. Wie gut, wenn der Sachverständige hier von vornherein alle Messgeräte in seinem

Koffer mit sich führt, die er für eine sichere und normenkonforme Beurteilung sämtlicher Expositionen benötigt. Bei seinen Sicherheitsmessungen mit jedem der beiden neuen, intelligent zusammengestellten EMF-Paketen kann ihn daher nichts und niemand mehr so schnell in Verlegenheit bringen. Weder im Bereich Umwelt- noch im Arbeitsschutz.

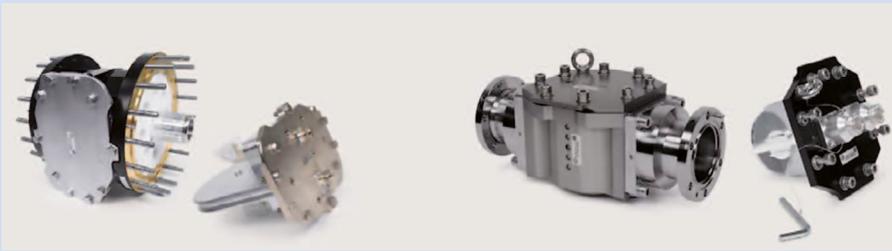
Dabei setzt sich das Umweltschutz-Paket aus dem Feldanalysator EHP, dem NBM (Narda Broadband Field Meter) sowie



**Im Umweltschutz stehen Behörden und Dienstleister häufig vor der Aufgabe, Hochspannungsleitungen zu untersuchen. Hier ist die Messung der elektrischen Feldstärke vorgeschrieben**

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

## Messtrennstücke mit überarbeitetem Design



Spinner hat sein Portfolio um Messtrennstücke mit noch höherer Leistung erweitert und bietet jetzt Größen bis 9 3/16 Zoll EIA an. Zusätzlich wurden die Messtrennstücke auch in ihrer Form überarbeitet, sodass sie jetzt noch kompakter und dadurch leichter und einfacher zu installieren sind.

Im neuen Design (links) wurden die bisherigen EIA-Buchsen durch EIA-Stecker ersetzt. Außerdem hat der Messeinsatz jetzt die Form einer Scheibe, die senkrecht zum

Verschluss steht, anstelle des bisherigen breiteren kreisförmigen Einschubs.

Die Vorteile der der Spinner-Messtrennstücke bleiben durch die neue Form weiterhin erhalten:

- HF-Messungen ohne Demontage von Leitungen und Kabeln
- Eignung für den Außeneinsatz
- Unterstützung der Maximalwerte nach EIA-Standard

- Messeinsatz wird mit Testanschlüssen geliefert, sodass keine separaten Mesadapter benötigt werden

Für HF-Messungen wie Antennenimpedanztests und -abstimmungen oder die Messung des SWR-Wertes der Feeder sowie der elektrischer Länge bietet der Messeinsatz des Messtrennstücks zwei Testports. Diese Ports ersparen nicht nur Adapter, sondern erhöhen auch die Messgenauigkeit. Abhängig von der charakteristischen Impedanz haben die Ports 7-16-Anschlüsse für 50 Ohm und N-Anschlüsse für 75 Ohm. Die Übersicht zeigt die Eckdaten für die neue Messtrennstück-Serie (alle Anschlüsse Stecker/Stecker, SWR 1,03).

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

einer Hochfrequenzsonde nach Wahl zusammen, ein Angebot, das für beide Varianten gilt. Zu dem spezifischen Arbeitsschutz-Paket gehören neben der Sonde der ELT (Exposure Level Tester) und NBM. Anwender dieser Narda-Kombi-Pakete profitieren weit über die hohe Qualität ihrer Einzelkomponenten hinaus von einem deutlichen Plus an Effektivität und Flexibilität im Verbund. So erfordern Anlagen, die häufig ihren Betriebszustand wechseln, oft Langzeitmessungen. Mobilfunkstationen beispielsweise ändern ihre Sendeleistung jede Millisekunde. Und in einer Schweißanlage fließen nur in solchen Momenten Ströme, in denen der Schweißpunkt gesetzt wird. Je nach Situation, die der Messtechniker vorfindet, kann er mit dem einen Gerät eine Langzeitmessung zur Erfassung des Maximalwertes durchführen, während er simultan mit dem anderen eine weitere Messung erledigt. Er spart somit wertvolle Zeit und verdient obendrein zusätzliches Geld.

### Komponenten

Nardas kompakter Feldanalysator EHP-50F zur Messung elektrischer und magnetischer ELF-Felder (Extremely Low

Frequency) sowie der ELT-400 zur Erfassung magnetischer Felder funktionieren im Bereich zwischen 1 Hz und 400 kHz. Der NBM-550 misst mit seinen verschiedenen, frei wählbaren Hochfrequenzsonden von 100 kHz bis 90 GHz. Um auch noch die „kleine untere“ Lücke von 0 bis 1 Hz zu schließen, lassen sich beide Power-Pakete durch das Magnetometer HP-01 aus dem Narda-Portfolio erweitern. Das Umweltschutz- und das Arbeitsschutz-Paket werden jeweils in einem praktischen Koffer geliefert.

Jede einzelne Komponente steht messtechnisch betrachtet für die optimale und damit sicherste Methode, elektromagnetische Felder zu erfassen. Einige physikalische Grundkenntnisse des Technikers vorausgesetzt, etwa über die Ausbreitung elektromagnetischer Felder, heißt es hierbei schlicht: einschalten und messen. So sind alle Messinstrumente zum Beispiel in der Lage, ihre Ergebnisse in Prozent des Grenzwertes anzuzeigen. Das funktioniert bei Narda-Geräten automatisch unter anderem mit der sogenannten „Weighted-Peak“-Messmethode, bei der das Eingangssignal ohne irgendein

Zutun des Technikers normenkonform bewertet wird. Denselben Effekt haben die sogenannten Shaped Probes (bewertende Sonden), die sich besonders zum Nachweis von Personenschutzgrenzwerten in Multifrequenz-Umgebungen eignen. Dabei ist Narda der einzige Hersteller weltweit, der über diese „Shaped-Probes“-Technologie verfügt.

### EMF-Umweltschutz-Paket

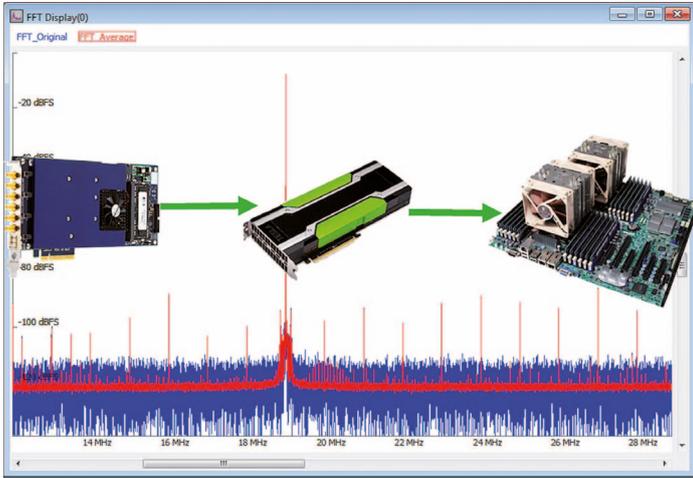
Die Kombination des Umweltschutz-Pakets aus EHP, NBM und einer frei wählbaren Hochfrequenzsonde knüpft nahtlos an die positive Resonanz zufriedener Kunden eines bereits bestehenden Pakets an. Das Angebot hat Narda im Dialog mit Anwendern jetzt insofern optimiert, als die Sonde für den NBM aufgrund entsprechender Anregungen frei wählbar ist. Im Umweltschutz stehen Kunden wie Behörden und Dienstleister häufig vor der Aufgabe, Hochspannungsleitungen oder Mobilfunkstationen zu untersuchen. Hier ist eine Messung der elektrischen Feldstärke vorgeschrieben. In der Praxis könnte das Umweltschutz-Paket seine

Stärken beispielhaft so ausspielen: Der EHP nimmt autark eine Langzeitmessung einer Hochspannungsstrasse vor, während der Sachverständige gleichzeitig mit dem NBM vom Balkon eines besorgten Anwohners eine Mobilfunkstation bewertet.

### EMF-Arbeitsschutz-Paket

In der Industrie hingegen erfordern die wenigsten Anwendungen die Messung niederfrequenter elektrischer Felder, da es Messtechniker hier so gut wie nie mit Hochspannungsleitungen zu tun haben. Zu 99 % reicht es aus, lediglich das Magnetfeld zu messen. Aus diesem Grund hat Narda für sein spezifisches Arbeitsschutz-Paket jetzt den ELT neu in sein Angebot aufgenommen. Dieser erfasst nur das Magnetfeld und damit nicht mehr, als erforderlich ist. Der große Vorteil des Arbeitsschutz-Pakets könnte sich in der Praxis zum Beispiel folgendermaßen ausdrücken: Der NBM nimmt an einer Hochfrequenz-Trocknungsanlage autark eine Langzeitmessung vor, während der Messtechniker parallel mit dem ELT die Feldsituation eines Schaltschranks beurteilt. ◀

# Digitizer mit Block-Average für extrem lange und schwache Signale



Ein neues „Signal-Averaging“-Paket verändert die Art und Weise, wie Signale erfasst und gemittelt werden können. Die Signalmittlung spielt eine entscheidende Rolle bei Anwendungen, in denen Signaldetails, die in zufälligem Rauschen verborgen sind, extrahiert und analysiert werden müssen.

Das neue Paket von Spectrum Instrumentation verwendet SCAPP (Spectrum's CUDA

Access for Parallel Processing) zusammen mit den neuesten Digitizern des Unternehmens, um die parallele Struktur einer CUDA-Grafikkarte zur Datenbearbeitung nutzbar zu machen.

Dabei werden die Daten mithilfe von RDMA-Übertragung (Remote Direct Memory Access) direkt an eine GPU gesendet, wo eine schnelle Zeit- und Frequenzbereichs-Signalmittlung möglich ist und Einschränkungen, die bei anderen Ansätzen auftreten, vermieden werden.

Das neue Paket ist für alle Nutzer interessant, die mit schwachen Signalen arbeiten oder bei denen Signaldetails aufgrund von starkem Rauschen verloren gehen. Dazu gehören Anwendungen wie Massenspektrometrie, LIDAR, Radioastronomie, Automation, Radar, Biomedizin, Sonar und viele mehr.

Das neue Paket ist für alle Nutzer interessant, die mit schwachen Signalen arbeiten oder bei denen Signaldetails aufgrund von starkem Rauschen verloren gehen. Dazu gehören Anwendungen wie Massenspektrometrie, LIDAR, Radioastronomie, Automation, Radar, Biomedizin, Sonar und viele mehr.

## Hintergrund

Bisher hatten Ingenieure und Wissenschaftler, die eine Signalmittlung durchführen wollten, drei grundlegende Möglichkeiten: Sie konnten zum einen ein digitales Oszilloskop nutzen, das die Signalmittlung beinhaltet. Eine weitere Möglichkeit war die Anschaffung einer Digitizerkarte, wobei die digitalisierten Daten an einen PC gesendet werden und der Host-Prozessor die Berechnungen durchführt. Dritte Möglichkeit war ein spezieller Digitizer, der mit FPGA-Technologie (Field Programmable

Gate Array) die Signalmittlung selbst übernimmt. Jedoch haben alle diese drei Techniken gravierende Einschränkungen, wenn die Mittlung für lange Signal durchgeführt werden muss.

Digitale Oszilloskope verwenden normalerweise 8-Bit-ADCs, was ein ungünstiges Signal/Rausch-Verhältnis zur Folge hat. Darüber hinaus ist die Fähigkeit zur Mittlung typischerweise durch kleine Prozessoren und einen begrenzten Onboard-Speicher eingeschränkt. Schnelle Digitizer können im Allgemeinen viel höhere A/D-Auflösungen und mehr Speicher bieten. Jedoch wird die Erfassungsgeschwindigkeit der Digitizerkarte normalerweise durch die maximale Datenübertragungsrate des PCs limitiert, während außerdem der Host-Prozessor neben der Mittlung viele weitere Aufgaben ausführen muss. Digitizer, die hingegen FPGA-Technologie verwenden, benötigen große und teure FPGAs, um selbst moderate Signallängen

## Netzgeräte mit zwei oder drei Kanälen

Die neue Netzgeräteserie R&S NGE100B ist besonders einfach und sicher zu bedienen. Die robusten Geräte verfügen über galvanisch getrennte Kanäle und Sicherheitsbuchsen. Die Farbcodierung der Kanäle verschafft eine schnelle Übersicht. Die Geräte sind kompakt und leise und zudem ist eine Fernsteuerung via WLAN möglich. Das ist einzigartig für Geräte in der Preisklasse unter 1000 Euro.

Die neue Netzgeräteserie besteht aus dem R&S NGE102B mit zwei Kanälen sowie dem R&S NGE103B mit drei Kanälen. Sie eignen sich für zahlreiche Anwendungen im Ausbildungs- und Fertigungsbereich sowie in Entwicklungslaboren. Dort erleichtert die neue Farbcodierung der Kanäle die Bedienung. Dank geregelter Lüfter sind sie zudem besonders leise. Außerdem sind die Ein-/Ausgänge jetzt mit Sicherheits-Bananenbuchsen ausgestattet, wodurch zusätzliche Adapter entfallen.



Vor allem im Ausbildungsbereich sind diverse Schnittstellen zur Fernsteuerung besonders hilfreich. Die Netzgeräte lassen sich über die integrierte USB-Schnittstelle sowie optional über LAN oder WLAN fernsteuern. Alle Kanäle sind galvanisch getrennt, potentialfrei und elektrisch identisch aufgebaut. Damit kann jeder Kanal als unabhängiges Netzgerät betrieben

werden. Durch Zusammenschalten der Kanäle lassen sich höhere Ausgangsspannungen und -ströme erreichen. Die einfach zu setzenden Sicherungsfunktionen schützen auch bei komplexen Aufbauten den Prüfling und das Netzgerät. So lassen sich nicht nur Maximalspannungen und -ströme, sondern auch entsprechende Abschaltzenarien einstellen. Kombiniert mit dem Oszilloskop R&S RTB2000, dem Spektrumanalysator R&S FPC1500 und dem Digitalmultimeter R&S HM8012, bilden die R&S-NGE100B-Netzgeräte die optimale Grundausstattung für Universitäts- und Entwicklungslabore. Die Geräte gehören zum Value-Instruments-Portfolio von Rohde & Schwarz mit leistungsstarken T&M-Einstiegsgeräten zu wettbewerbsfähigen Preisen.

■ Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG  
www.rohde-schwarz.com

zu mitteln. Daher sind FPGA-basierte Lösungen meist teuer und bieten nur begrenzte Aufzeichnungslängen.

Im Gegensatz dazu kann der neue Ansatz von Spectrum Instrumentation eine Mittelung selbst für extrem lange Signale durchführen und Benutzern gleichzeitig eine unerreichte Flexibilität bieten. Das Paket funktioniert mit den schnellen PCIe-Digitizer-Karten der M4i- sowie der M2p-Serie in der mittleren Leistungsklasse. Die M4i-Serie bietet Digitizer, welche Signale mit bis zu 5 GS/s bei 8 Bit Auflösung, 500 MS/s bei 14 Bit Auflösung oder 250 MS/s bei 16 Bit Auflösung abtasten können. Die M2p-Karten bieten Abtastraten von 20 bis 125 MS/s, alle mit 16 Bit Auflösung und bis zu acht Kanälen pro Karte. Somit können Benutzer ein Leistungs-

niveau auswählen, das ihren speziellen Anforderungen an die Signalerfassung am besten entspricht. Da die Daten unter Verwendung der RDMA-Übertragung, ohne Eingreifen des Host-Prozessors, direkt zur GPU-Karte transferiert werden, kann eine Mittelung für Signale fast beliebiger Länge erfolgen.

Beispielsweise kann ein M4i.2220-x8-Digitizer Signale mit 2,5 GS/s kontinuierlich abtasten und, selbst bei Längen von mehreren Sekunden, diese fortlaufend mitteln, ohne ein Ereignis zu verpassen. Ebenso kann ein M4i.4451-x8-Digitizer mit einer Auflösung von 14 Bit dieselbe Funktion ausführen, während er vier Signale gleichzeitig mit 450 MS/s abtastet. Die Digitizer-Karten verfügen außerdem über flexible Trigger-, Erfassungs- und Auslesemodi, die es

ermöglichen, die Wellenformen auch bei extrem hohen Triggeraten zu mitteln. Im Gegensatz zu der FPGA-basierten Lösung, die FPGAs mit höchster Leistung erfordern, sind bei dem neuen Verfahren selbst CUDA-Grafikkarten der Einstiegsklasse zu den schnellen Berechnungen imstande.

Das neue Paket zur Mittelwertbildung ist Teil des SCAPP-Treiberpakets und enthält die Erweiterung für die RDMA-Übertragung, um den direkten Datentransfer vom Digitizer zur GPU zu ermöglichen. Das Paket enthält außerdem eine Reihe von Beispielen für die Interaktion mit dem Digitizer sowie Beispiele für die CUDA-Parallelverarbeitung mit den grundlegenden Mittelungsfunktionen. Die Beispiele enthalten Blockmittelung zusammen mit Rauschunterdrü-

ckungsmethoden sowie lückenlose Mittelung von Signalen im Frequenzbereich. Die Nutzung der mitgelieferten, getesteten und optimierten Beispiele führt zu sofortigen Ergebnissen. Die gesamte Software basiert auf C/C++ und kann mit normalen Programmierkenntnissen problemlos erweitert werden. Eigene spezifische Algorithmen für die Mittelwertbildung lassen sich leicht einbinden. Das SCAPP-Paket ermöglicht für PCs mit Linux-Betriebssystem die RDMA-Übertragung direkt an die GPU oder für PCs mit Windows-basiertem Betriebssystem eine Übertragung mit dem Umweg über die CPU.

■ *Spectrum Instrumentation GmbH*  
*info@spec.de*  
*spectrum-instrumentation.com*

## Modulare HF-Schaltzentrale für verschiedenste Testszenarien

Für die neue Generation der offenen Schalt- und Steuerplattform R&S OSP hat Rohde & Schwarz die Hard- und Software komplett überarbeitet. Sie ist nun für mehr Module und noch kürzere Umschaltzeiten ausgelegt. Mit der R&S OSP kann der Anwender verschiedenste Schalt- und Steuermodule zu einer kostengünstigen und maßgeschneiderten Schaltzentrale für seinen Testaufbau kombinieren. Auch die Module der Vorversion werden von der R&S OSP weiterhin unterstützt.

Background: Testsetups für neue Technologien wie 5G Mobilfunk oder moderne Radartechnik erfordern eine Schalt- und Steuertechnik mit großen Frequenzbereichen und kurzen Umschaltzeiten. Deshalb hat Rohde & Schwarz seine Plattform vollständig überarbeitet und präsentiert jetzt die neuen Modellvarianten R&S OSP220/230/320 sowie die neue Satelliten-Box R&S OSP-B200S2.



Zu den Besonderheiten der neuen Generation zählt die optional freischaltbare Trigger-Funktion R&S OSP-K100. Über die externen Trigger-Ein- und -Ausgänge ist ein hardwarebasiertes Schalten von vordefinierten Pfaden möglich. Der Anwender kann damit die Schaltzeiten gegenüber einer LAN-basierten Ansteuerung noch weiter reduzieren. Notwendig sind solch kurze Schaltzeiten zum Beispiel, wenn die schnellen Halbleiterrelais von Antennenarrays oder Radarmodulen angesteuert werden sollen. Der R&S OSP320 hat für diese Zwecke auf seiner Rückseite einen zusätzlichen digitalen Adresseingang zur direkten Ansteuerung vordefinierter Pfade. Anwender bedie-

nen die neue Gerätegeneration jetzt vollständig über eine neue, web-basierte Oberfläche. Eine separate Software zur Konfiguration einer R&S OSP ist nicht mehr nötig. Zudem passt sich die Darstellung automatisch der gerade verwendeten Bildschirmgröße an.

Bei der Bedienung über einen angeschlossenen PC mit großem Monitor werden beispielsweise mehrere Schaltmodule gleichzeitig dargestellt, was die Übersichtlichkeit bei komplexen Verschaltungen erhöht. Relais-Verschaltungen eines oder mehrerer R&S OSPs lassen sich per Pfadsteuerung zusammenfassen. Diese Pfade können auch im Virtual Mode vorkonfiguriert werden, ohne

alle Geräte und Module zur Verfügung zu haben.

Die Modellvarianten R&S OSP220/230/320 bieten Kapazitäten von fünf bis maximal zehn Modulschächten in einem Gerät, die sich auf der Vorder- und Rückseite befinden. Dadurch kann der Kunde den Ort der Verkabelung in Abhängigkeit von seinen Anforderungen selbst bestimmen. Zudem lassen sich die Modulschächte anwendungsspezifisch für größere applikationsspezifische Module zusammenfassen.

Da die bisherigen R&S OSP-Module auch für die neue Gerätegeneration eingesetzt werden können, steht mit der Markteinführung ein umfassendes Modulprogramm zur Verfügung. Es enthält HF-Relais wie elektromechanische Koaxialrelais bis 67 GHz und Solid-State-Relais sowie digitale I/O- und Multiplexer-Module.

■ *Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG*  
*www.rohde-schwarz.com*

# HF-Abschlüsse – hohe Leistung auf kleinstem Raum



Temperaturbereichen von bis zu 110 °C bei Nennleistung garantiert. Neben einer großen Auswahl an Standardmodellen realisiert Telemeter Electronic auch kundenspezifisch entwickelte Lösungen bei vergleichsweise geringen Serienstückzahlen.

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

In vielen HF-Anwendungen werden Abschlusswiderstände zur Vermeidung von Reflexionen und zum Schutz von Bauteilen benötigt. Seit vielen Jahren vertrauen zahlreiche Kunden im Bereich Verstärkertechnik auf hochwertige Abschlüsse von Telemeter Electronic. Jedoch ist auch bei HF-basierten Energieerzeugern die Verwendung von Telemeter-HF-Abschlüssen nicht nur möglich, sondern eine sehr gute Wahl. Auch für den Einsatz bei industriellen Mikrowellen, der Plasmaerzeugung oder in der Medizintechnik sind sie bestens geeignet.

Je nach der benötigten Leistung sowie dem gewünschten Frequenzbereich stehen Modelle in unterschiedlichen Aufbautechnologien zur Auswahl. Zur einfachen Integration bieten sich idealerweise Stripline-Terminierungen an. Diese werden mittels eines Flansches direkt auf einem Kühlkörper montiert und über eine Streifenleitung an die HF-Schaltung angeschlossen. Ergänzend hierzu sind auch Chip- oder SMD-Varianten verfügbar.

Das Leistungsspektrum dieser HF-Abschlüsse reicht von 2 bis 1650 W und deckt je nach Ausführung einen Frequenzbereich bis hin zu 18 GHz ab. Durch unterschiedliche Substrate in Dünn- oder Dickschichttechnologie ist eine stabile Leistungsfähigkeit auch in hohen

## Signalgeneratoren Serie DSG3000



- 9 kHz bis 3 oder 6 GHz
- -130 dBm bis +13 dBm
- Powermeter-Anschluss



Telemeter Electronic

[info@telemeter.de](mailto:info@telemeter.de) · [www.telemeter.info](http://www.telemeter.info)  
 Wir liefern Lösungen...

## Hochleistungs-Frequenzzähler



Hochleistungs-Frequenzzähler und Frequenzanalyzer von Pendulum in kompakter Bauform messen und analysieren Frequenzen bis 60 GHz. Das Modell CNT-91 Timer/Counter/Analyzer ist ein leistungsstarkes Gerät zum Messen, Analysieren und Kalibrieren von Frequenzen, Zeitintervallen und Phasen. Er eignet sich besonders für Anwendungen in Forschung und Entwicklung, für Kalibrierlabore, aber auch für Systemanwendungen. Die Version CNT-91R enthält zusätzlich einen Rubidium-Frequenzstandard.

Das Modell CNT-90XL Microwave Counter/Analyzer verarbeitet Eingangssignale bis zu 60 GHz (CW oder Burst). Es bietet eine zwölfstellige Auflösung für ein Messintervall von 1 s, das entspricht einer Auflösung von 1 ms bei einem 1-GHz-Signal. Der Mikrowellen-Fre-

quenzanalyzer CNT-90XL empfiehlt sich z.B. für Monitoring und Wartung von Richtfunkanlagen, VSAT-Terminals und Teleports.

Die Stabilität des internen Referenzsignals kann (per Hardware-Option) an die Messaufgaben angepasst werden – bis hin zur Rubidium-Referenz. Ist eine hochstabile Referenz vorhanden, kann die interne Referenz auch über ein externes Referenzsignal diszipliniert werden.

Multifunktionale Frequenzanalyse bietet die Time-View-Software, die die Rohdaten aus den CNT-Frequenzzählern ausliest.

■ EMCO Elektronik GmbH  
[info@emco-elektronik.de](mailto:info@emco-elektronik.de)  
[www.emco-elektronik.de](http://www.emco-elektronik.de)



**NEW  
30GHz**

# USB/Ethernet ATTENUATORS

## Now up to 30GHz!

- Attenuation Ranges up to 120 dB
- Step Size as Small as 0.25 dB
- Single-Channel and Multi-Channel Models
- USB, Ethernet, RS232 and SPI Control Options



**Mini-Circuits®**

[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) (718) 934-4500 [sales@minicircuits.com](mailto:sales@minicircuits.com)

587 Rev A\_P

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
[www.ie4u.de](http://www.ie4u.de)  
[anfrage@ie4u.de](mailto: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](mailto:info@municom.de) [www.municom.de](http://www.municom.de)

# HF-Wandler ermöglichen effiziente Multiband-Transceiver für die nächste Generation an Mobilfunk-Basisstationen

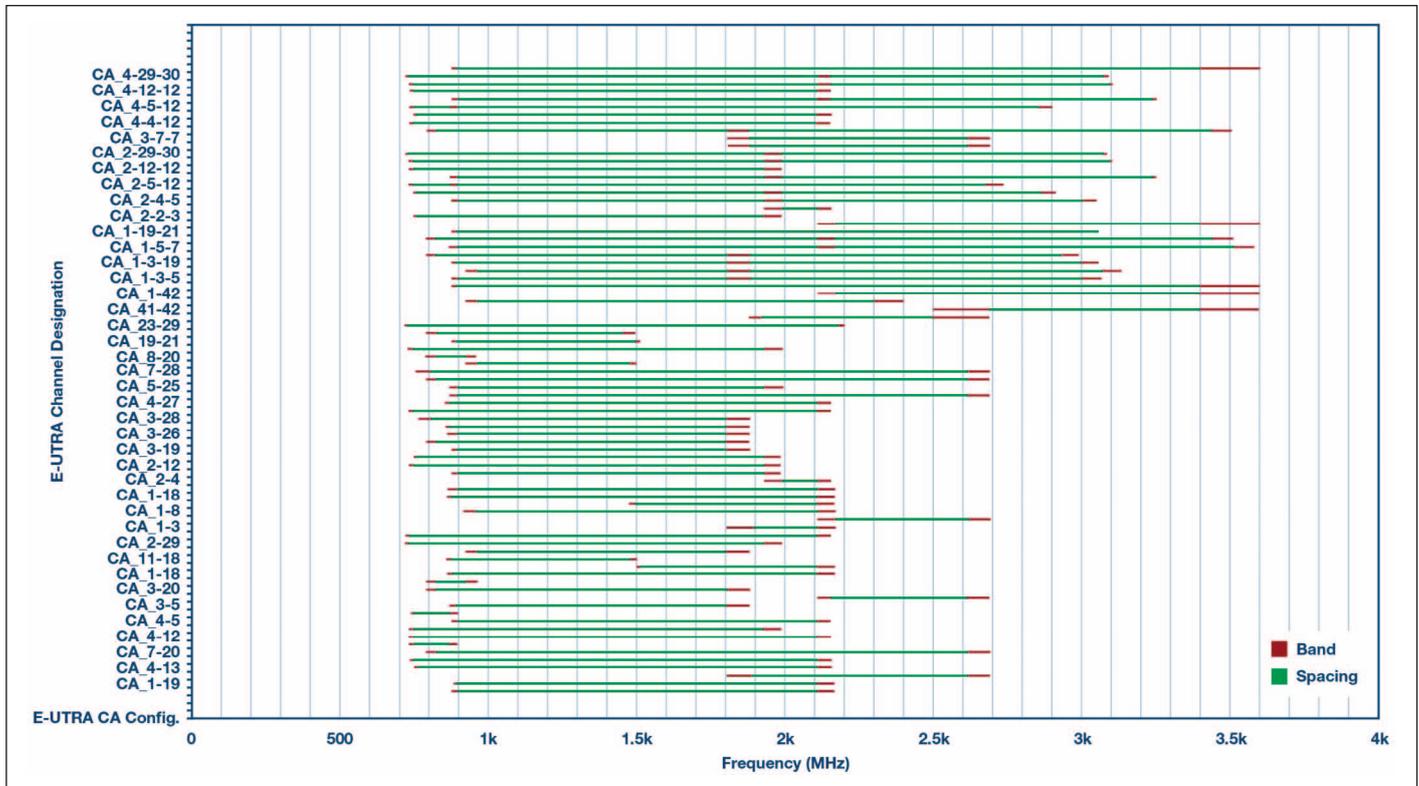


Bild 1: Die Trägeraggregation von nicht zusammenhängendem Spektrum verdeutlicht das Problem des knappen zur Verfügung stehenden Spektrums. Rot ist das lizenzierte Spektrum dargestellt, grün der Interbandabstand

**Um den steigenden Bedarf an drahtloser Datenübertragung zu decken, werden moderne Basisstations-Transceiver entwickelt, die mehrere E-UTRA-Bänder sowie Techniken zur Trägeraggregation unterstützen.**



John Oates, Systemingenieur  
Analog Devices, Inc.  
www.analog.com

Diese Multiband-Transceiver verwenden GPS-RF-ADCs und -DACs (Giga Samples Per Second) der nächsten Generation, die frequenzagile, direkte HF-Signalsynthese und Abtasttechniken ermöglichen.

Um das schmale HF-Funkspektrum gut auszunutzen, wird ausgeklügeltes Digital Signal Processing (DSP) verwendet, um die Datenbits effizient in HF und wieder zurück zu verarbeiten. Dieser Artikel beschreibt beispielhaft einen HF-Sender für eine Multibandapplikation mit entsprechenden DSP-Konfigurationen und geht auf die Abwägung zwischen Leistung und Bandbreite ein.

## Zehn Jahre, zehnmal mehr Bänder, hundertfache Datenraten

Es ist nun über zehn Jahre her, seit die Smartphone-Revolu-

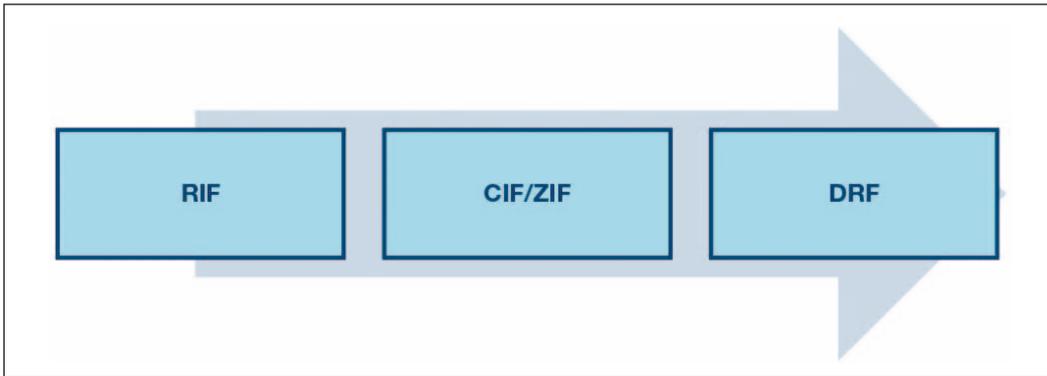
tion begann, nämlich als Apple 2007 das Original-iPhone auf den Markt brachte. Nach zwei Generationen von Mobilfunkstandards hat sich heute viel verändert. Die Infrastruktur-Basisstationen (eNodeB) des Radio Access Networks (RAN) haben sich auf eigene Art gewandelt, um die Datenflut unserer heutigen vernetzten Welt zu ermöglichen. Die Zahl der zellulären Bänder hat sich verzehnfacht, während sich die Abstraten der Datenwandler um das Hundertfache gesteigert haben. Was bedeutet das für uns?

## Multiband-Funk und effiziente Nutzung des Spektrums

Von 2G GSM bis 4G LTE ist die Anzahl der Mobilfunkbänder um das Zehnfache gestiegen – von vier bis über 40. Mit dem Aufkommen von LTE-Netzen haben sich die Anbieter von Basis-

stationen gezwungen gesehen, weitere Funkkonzepte entwickeln. LTE-advanced erhöhte die Anforderungen an Multiband-Transceiver. Deshalb kam es zur Trägeraggregation, bei der nicht zusammenhängende Frequenzspektren innerhalb desselben Bandes zusammengeführt werden – oder, was noch wichtiger ist, dass die verschiedenen Bänder im Basisbandmodem zu einem einzigen Datenstrom zusammengefasst werden.

Das HF-Spektrum ist jedoch begrenzt. Bild 1 zeigt mehrere trägeraggregierte Bandkombinationen, die das Problem des begrenzten Spektrums verdeutlichen. In Grün ist der Interbandabstand und in Rot ist das interessierende Band markiert. Die Informationstheorie sagt aus, dass ein System keine Ressourcen verschwendet, wenn auch das unerwünschte Frequenzspektrum mit umwandelt wird. Mehrband-Transceiver



**Bild 2: Die Funkarchitektur hat sich weiterentwickelt, um den steigenden Bandbreitenanforderungen gerecht und durch SDR-Techniken agiler zu werden**

für die effiziente Umwandlung des knappen Spektrums zwischen der analogen und digitalen Domäne werden erforderlich.

### Entwicklung der Basisstationen hin zur HF-Direktabtastung

Um den erhöhten Datendurchsatz von 4G-LTE-Netzen zu ermöglichen, wurde die Transceiver-Architektur der Basisstationen für den Weitverkehr weiterentwickelt. Superheterodyn-

Schmalband- und IF-Abtast-Transceiver mit Mischern und Einkanal-Datenwandlern wurden durch I/Q-basierte Architekturen mit doppelter Bandbreite ersetzt, wie z.B. Complex-IF (CIF) und Zero-IF (ZIF). CIF- und ZIF-Transceiver erfordern analoge I/Q-Modulatoren/Demulatoren mit Zwei- und Vierkanal-Datenwandlern. Allerdings haben diese CIF/ZIF-Transceiver auch eine LO-Abstrahlung, und die Spiegelfrequenzen müssen

durch Korrektur unterdrückt werden.

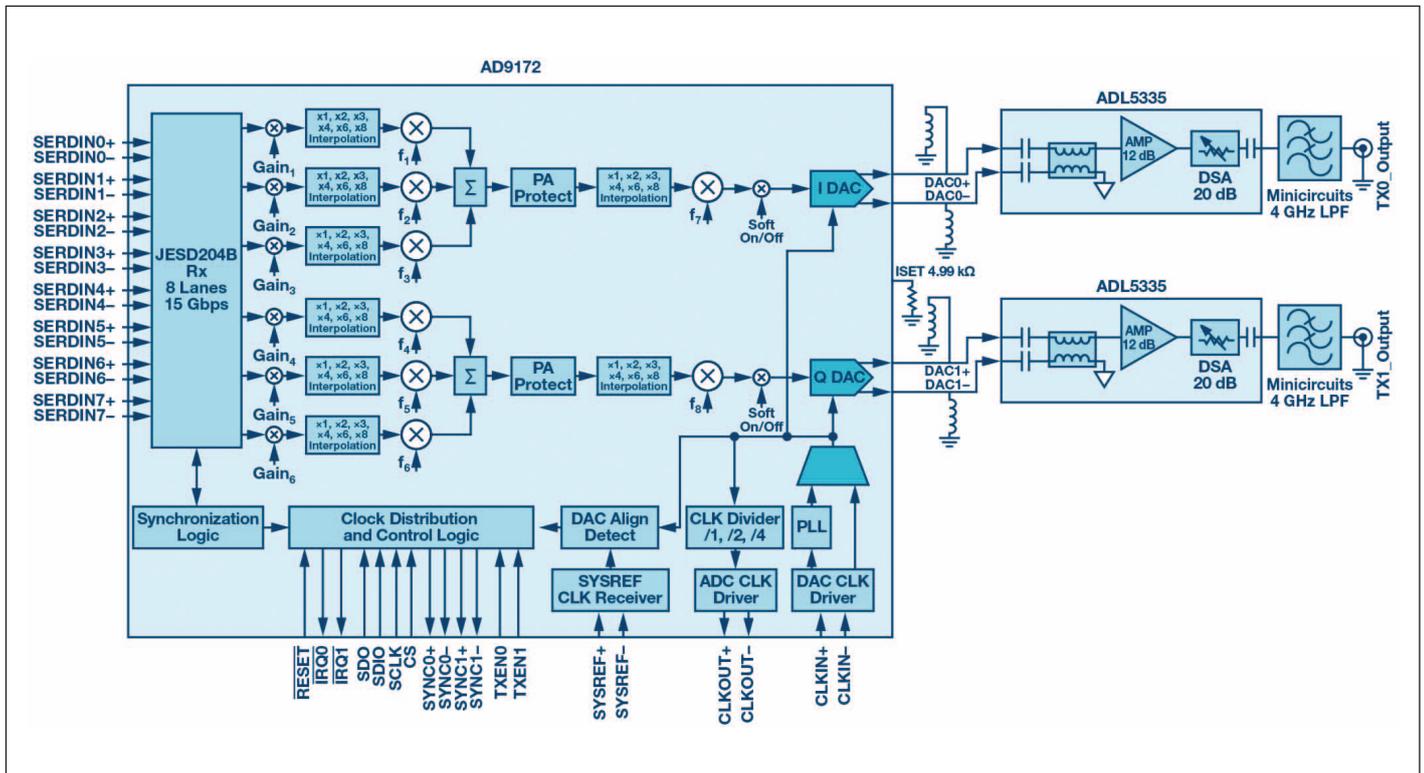
Bild 2 skizziert: Die Funkarchitektur hat sich weiterentwickelt, um einerseits den steigenden Bandbreitenanforderungen gerecht und andererseits durch SDR-Techniken agiler zu werden.

Erfreulicherweise sind die Abtastraten der Datenwandler ebenfalls enorm, nämlich von 100 MSPS im Jahr 2007 auf 10 GSPS+ im Jahr 2017 gestiegen. Diese Steigerung der Abtastrate

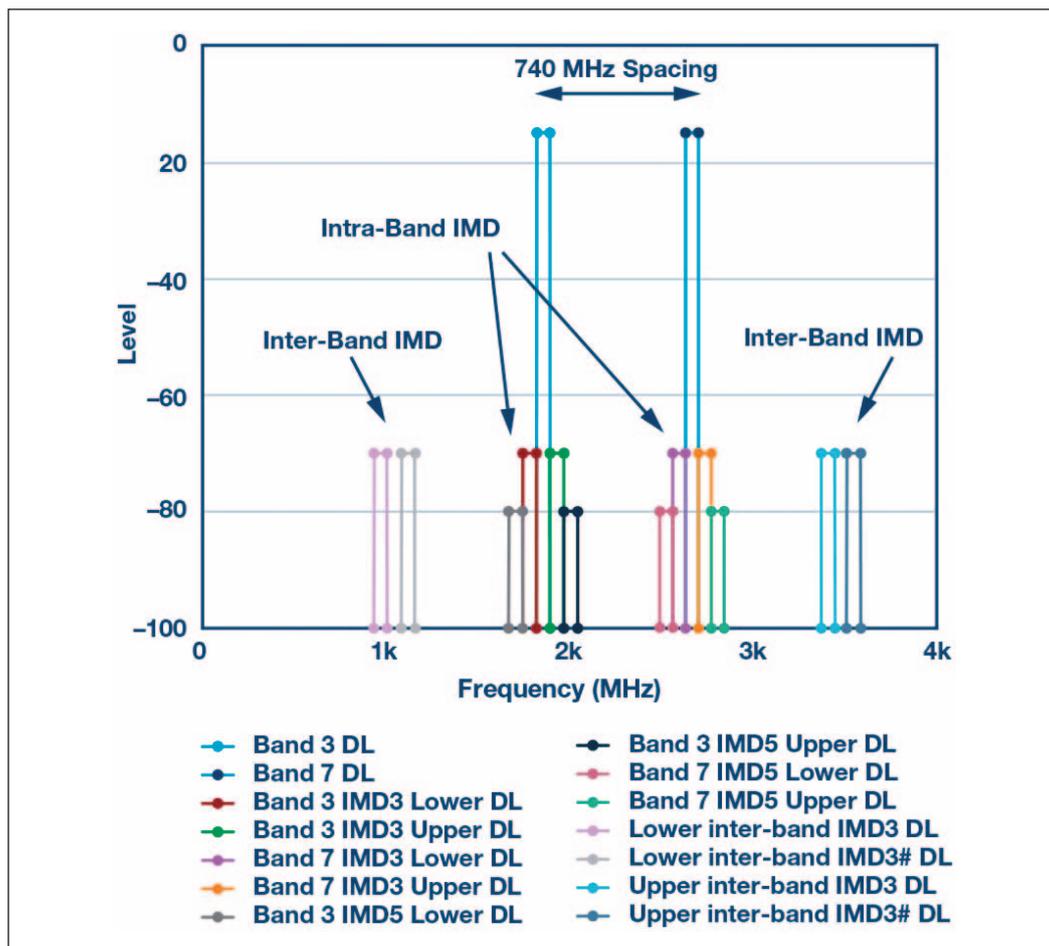
hat zu GSPS-HF-Wandlern mit sehr großen Bandbreiten geführt, sodass frequenzagile, softwaredefinierte Transceiver endlich Realität wurden.

Der heilige Gral der Sub-6-GHz-Radio-BTS-Architektur war lange die direkte HF-Abtastung und -Synthese. Direkte HF-Architekturen erübrigen die analoge Frequenzumsetzung im Mischer, in I/Q-Modulatoren und I/Q-Demulatoren, die ihrerseits die Quelle vieler unerwünschter Störsignale sind. Stattdessen verfügt der Datenwandler über eine direkte Schnittstelle zu hohen Eingangsfrequenzen, und jede Mischung kann digital über integrierte digitale Up/Down-Wandler (DUCs/DDCs) erfolgen.

Die Multiband-Effizienzsteigerung erfolgt in Form eines hochentwickelten DSPs, der in den HF-Wandlern von ADI enthalten ist und die digitale Kanalbildung nur in den gewünschten Frequenzbändern ermöglicht sowie gleichzeitig den Zugriff auf die gesamte HF-Bandbreite. Mit parallelen DUCs oder DDCs,



**Bild 3: Direkter HF-Sender. HF-DACs wie der AD9172 beinhalten hochentwickelte DSP-Blöcke mit parallelen, digitalen Upconverting-Kanälen für eine effiziente Multibandübertragung**



**Bild 4: Dualband-Szenario: Band 3 (1805...1880 MHz) und Band 7 (2620...2690 MHz)**

die interpolierende/dezimierende Up/Down-Sampler, Halbbandfilter und numerisch gesteuerte Oszillatoren (NCOs) kombinieren, können die interessierenden Bänder vor der Umwandlung zwischen analogen und digitalen Domänen digital konstruiert/dekonstruiert werden.

Die parallele digitale Auf-/Abwärtsrichter-Architektur ermöglicht es, mehrere Bänder des gewünschten Spektrums (rot in Bild 1) in einem Funkkanal unterzubringen und keine wertvollen Wandlungszyklen für die Umwandlung des ungenutztes Interbandspektrums zu verschwenden (grün in Bild 1). Eine effiziente Multiband-Kanalbildung bewirkt eine Senkung der erforderlichen Abtastraten der Datenwandler sowie der Anzahl der seriellen Kanäle, die für den Transport über den Datenbus JESD204B erforderlich sind. Die Reduzierung der Systemabtastraten reduziert die Anforderungen an Kosten, Leistung

und am Wärmemanagement des Basisbandprozessors und spart Investitions- und Betriebskosten des gesamten Basisstationssystems. Wahr bleibt dabei auch die Aussage, dass die Implementierung von Kanalisierungs-DSP in einem hochoptimierten CMOS-ASIC-Prozess weitaus energieeffizienter ist als die Implementierung in einem generellen FPGA – auch wenn die FPGAs mit kleineren Geometrien angeboten werden.

### Direkter HF-Sender mit DPD-Empfänger

Ein Beispiel: Mit dem HF DAC ist es gelungen, den IF DAC in den Multiband-BTS-Transceivern der nächsten Generation zu ersetzen. Bild 3 zeigt ein Beispiel für einen direkten HF-Sender mit dem 16-Bit/12-GSPS-RF-DAC AD9172, der die Triband-Kanalbildung mit drei parallelen DUCs

unterstützt und eine flexible Platzierung von Subträgern über 1,2 GHz Bandbreite ermöglicht. Auf den HF-DAC folgend, bietet der ADL5335 Tx einen VGA mit 12 dB Verstärkung und 31,5 dB Abschwächungsbereich bis zu 4 GHz. Der Ausgang dieses DRF-Senders kann dann je nach Ausgangsleistungsbedarf des eNodeB einen Leistungsverstärker der Wahl ansteuern.

Betrachten wir nun das in Bild 4 dargestellte Szenario für Band 3 und 7. Für die direkte Umwandlung des Datenstroms in HF können zwei verschiedene Ansätze verwendet werden. Der erste Ansatz (ein Breitbandansatz) würde die Bänder ohne Kanalisierung synthetisieren und eine Datenrate von 1228,8 MHz erfordern. 80% dieser Bandbreite ergeben eine DPD (Digitale Verzerrung) synthetisierte Bandbreite von 983,04 MHz, die ausreicht, um beide Bänder und deren 740 MHz Inter-

bandabstand zu übertragen. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in DPD-Systemen, die nicht nur eine Vorverzerrung der intrabandigen IMDs jedes einzelnen Trägers ermöglichen, sondern auch andere unerwünschte nichtlineare Emissionen zwischen den gewünschten Bändern unterdrücken.

Der zweite Ansatz besteht darin, kanalisierte Versionen dieser Bänder zu synthetisieren. Da jedes Band nur 60 bzw. 70 MHz breit ist und die Betreiber nur über Lizenzen für eine Teilmenge dieser Bandbreite verfügen, ist es nicht notwendig, alles zu übertragen und somit hohe Datenraten zu erzeugen. Stattdessen sollte man eine angemessenere, niedrigere Datenrate von 153,6 MHz verwenden, von der 80% zu einer DPD-Bandbreite von 122,88 MHz führen. Wenn ein Betreiber Lizenzen für 20 MHz in jedem Band besitzt, gibt es noch genügend DPD-Bandbreite für die Korrektur von Interband-IMDs 5. Ordnung für jedes Band. Dieser Mode kann bis zu 250 mW Leistung im DAC gegenüber dem oben beschriebenen Breitbandansatz und viel mehr Energie/Wärme im Basisbandprozessor einsparen sowie die Anzahl der seriellen Pfade reduzieren, was kleinere und kostengünstigere FPGA/ASIC-Implementierungen ermöglicht.

Bild 5 skizziert die LTE-Übertragung von Band 3 und 7 durch einen direkten HF-Sender unter Verwendung des RF-DAC AD9172.

Observationsempfänger für DPD verwenden auch DRF-Architekturen (Direct RF). Der 14-Bit/3-GSPS-RF-ADC AD9208 unterstützt durch parallele DDCs auch die Multiband-Kanalbildung. Die Kombination von HF-DACs und HF-ADCs im DPD-Subsystem des Senders hat viele Vorteile, darunter gemeinsame Wandlertakte, korrelierte Phasenrausch-Unterdrückung und eine allgemeine Vereinfachung des Systems. Die Vereinfachung ergibt sich durch den Einsatz des RF-DACs AD9172, der mit seiner integrierten PLL aus einem

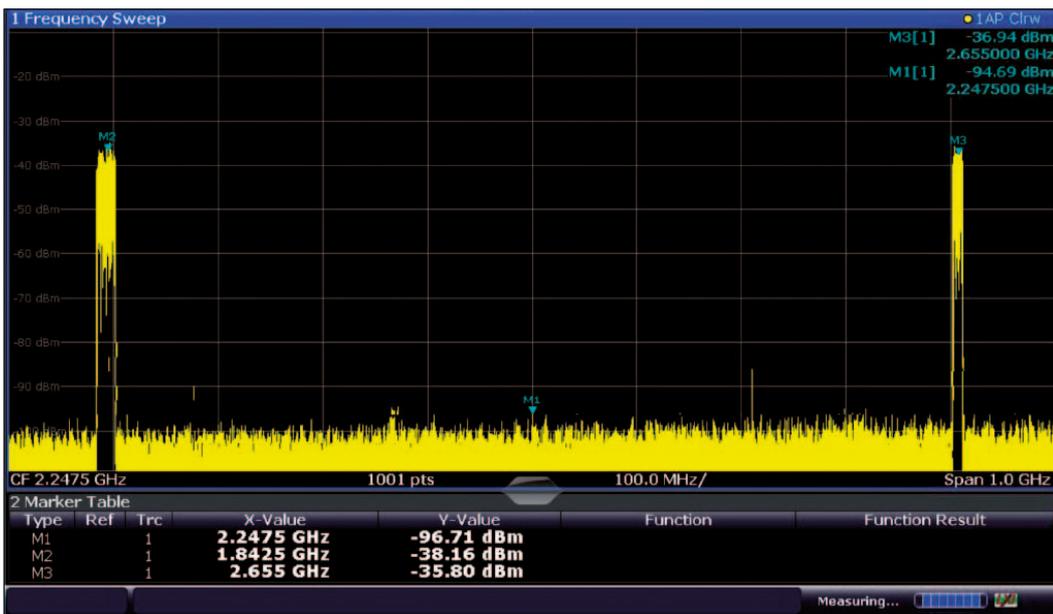


Bild 5: LTE-Übertragung von Band 3 und 7 durch direkten HF-Sender unter Verwendung des RF-DACs AD9172

niederfrequenten Referenzsignal einen bis zu 12-GHz-Takt erzeugt. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, hochfrequente Takte auf dem HF-Board zu routen. Zusätzlich kann der RF-DAC einen phasenkohärenten heruntergeteilten Takt für den Feedback-ADC bereitstellen.

Diese Systemmerkmale verbessern ein BTS-DPD-System

durch die Verwendung eines optimierten Multibandsender-Chipsatzes.

Bild 6 zeigt einen direktabtastenden HF-Beobachtungsempfänger, der für die digitale Vorverzerrung verwendet wird. Breitband-RF-ADCs wie der AD9208 können mehrere Bänder über eine Bandbreite von 5 GHz effizient digitalisieren.

### Zusammenfassung

Zehn Jahre nach der Revolution des Smartphones dreht sich im Mobilfunkgeschäft alles um den Datendurchsatz. Einband-Transceiver können mit dem Kapazitätsbedarf der Verbraucher nicht mehr Schritt halten. Um den Datendurchsatz zu erhöhen, muss mehr Spektrums-

bandbreite durch Trägeraggregation mehrerer Bänder erzielt werden. HF-Datenwandler können das gesamte Sub-6-GHz-Mobilfunkspektrum abarbeiten und können schnell für verschiedene Bandkombinationen neu konfiguriert werden, sodass softwaredefiniertes Radio Realität wird. Diese frequenzagilen direkten HF-Architekturen reduzieren Kosten, Größe, Gewicht und Leistung. Diese Tatsache hat den RF-DAC-Sender und den RF-ADC-DPD-Empfänger zur bevorzugten Architektur für Multiband-Basisstationen für Frequenzen von unter 6 GHz gemacht.

### Über den Autor

John Oates ist Systemingenieur mit Schwerpunkt Architektur von Basisstationen in der Communications Systems Group von Analog Devices (ADI). In letzter Zeit liegt sein Schwerpunkt auf GPS-Wandlern für direkte HF-Sender und Observation. John kam 2008 zu ADI und hält einen B.S. in Cp.E. von der North Carolina State University. Er ist erreichbar unter john.oates@analog.com. ◀

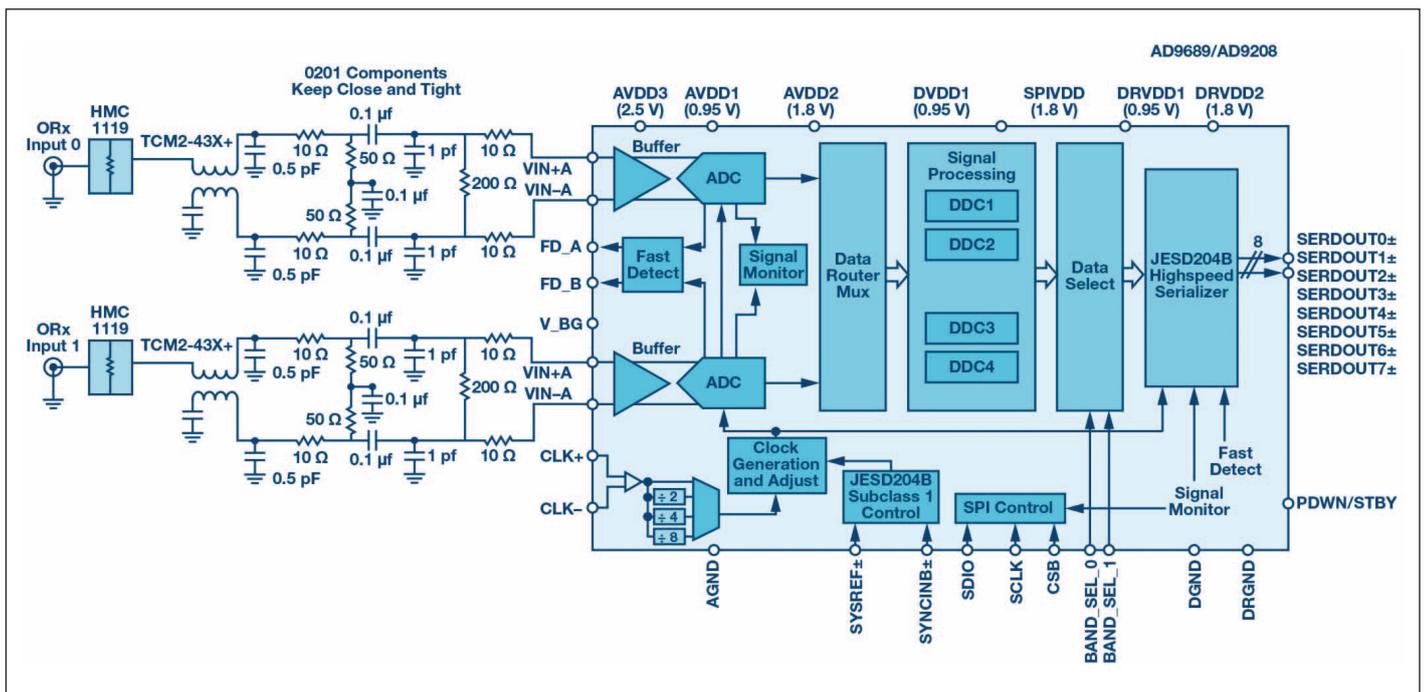


Bild 6: Direktabtastender HF-Beobachtungsempfänger für die digitale Vorverzerrung

## Klassengesellschaft:

# Grundtypen von EMV-Verstärkern

Heutige und zukünftige Funk-Technologien beanspruchen Frequenzressourcen in einem begrenzten Spektrum, sodass sich das Problem der gegenseitigen Beeinflussung verschärft. Daher wachsen auch die Anforderungen an die EMV-Mess- und Prüftechnik. Eine wichtige Rolle spielen hierbei speziell dafür entwickelte Verstärker. Nachdem in Heft 1 deren Kennwerte erläutert wurden, stellt dieser Beitrag die Grundtypen solcher EMV-Verstärker näher vor. Diese Kenntnisse sind wichtig für die Auswahl eines EMV-Verstärkers.



1 to 2 GHz, 1000 W Solid State Pulse Amplifier

In general EMC amplifiers range in type, such as: Solid State, TWTA, CW, Pulse, and their class of operation – Class A and Class AB.

### Class A and Class AB Amplifiers

Class A, and Class AB amplifiers have their strengths and weaknesses. Class A amplifiers are the most robust. They provide the highest levels of mismatch tolerance which is needed when significant RF levels reflect into the amplifier. This is a common

effect with many EMC antennas and other transducers. Additionally, linearity and harmonic distortion are much better with Class A amplifiers compared to other amplifier classes.

Class AB amplifiers have their own benefits. Generally, the cost of the amplifier is less than Class A amplifiers. The physical size of these amplifiers is also generally smaller. These amplifiers are much better suited for use with matched loads. See AR App Note #27A.

Shown in Table 1 is summary of the differences between Class A, and Class AB amplifiers. A summary of mismatch performance for typical Class A and AB amplifiers is shown in Figure 1. The 100 W curve is representative of most AR amplifiers below 500 W. It is clearly seen that the amplifier delivers a Minimum Available Power (MAP) of 100 W irrespective of the load SWR, including output load opens and shorts. As output power increases it becomes increasingly difficult to absorb 100% of the reflected power uniformly. Hot spots at these elevated power levels can cause damage or at least affect reliability. Nevertheless, AR high-power amplifiers continue to

offer 100% mismatch tolerance up to a load SWR of 6 (lower-power amplifiers deliver full power regardless of mismatch). Once this level is reached, the output power is limited to 50% of rated power.

For example, the AR model 2500A225A amplifier will provide a MAP of 2500 W up to a load SWR of 6. At this point, approximately 1250 W is reflected. From this point on, as load SWR increases the output power is gradually reduced until it reaches 1250 W for an infinite load SWR. Figure 1 clearly shows the advantage of this implementation when compared to the conventional “fold-back” scheme used by typical Class AB amplifiers.

In practice, the AR’s conservative SWR compromise of 6 works well in that the SWR of EMC antennas and transducers is often held to this value or better. If it strays beyond, rest assured your AR amplifier has sensed the increase and has implemented sufficient limiting to protect the amplifier from any damage.

Based on the above, mismatch tolerance can make the difference between meeting or failing the required power or field levels. As a result, mismatch tolerance is an important specification to consider when comparing offerings from different manufacturers, and where some manufacturers with use terms such as typical, or protection to confuse the issue.

### Traveling Wave Tube Amplifiers

For years, when discussing microwave, high field-strength electromagnetic compatibility (EMC) radiated susceptibility testing, Traveling Wave Tube Amplifiers (TWTAs) were the only choice for wide frequency coverage, and power. TWTAs are lower cost solutions, in most cases, but do have draw-

Quelle:  
Application Note #77  
Specifying RF/Microwave  
Power Amplifiers for EMC  
Testing  
AR RF/Microwave  
Instrumentations  
info@arworld.us  
www.arworld.us

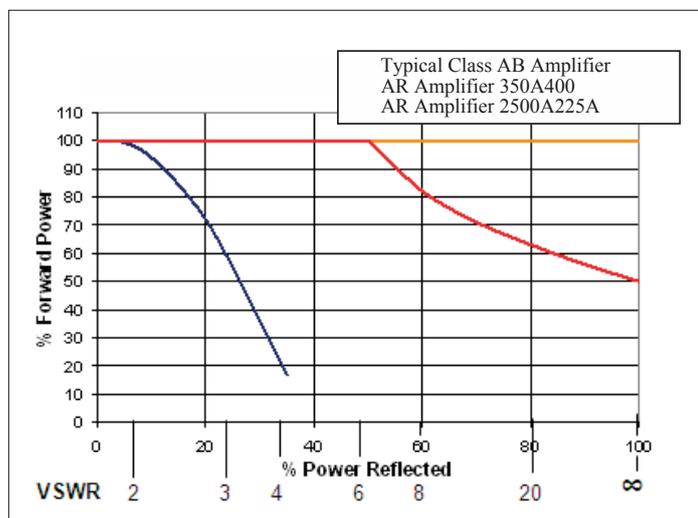
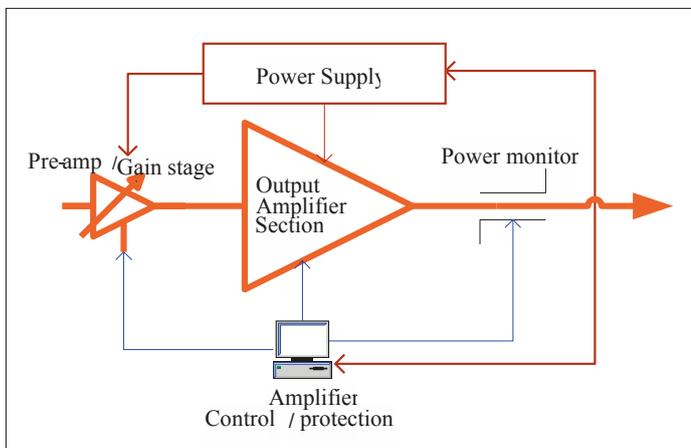


Figure 1: Minimum Available Power

Characteristic	Class A Amplifier	Class AB Amplifier
Output distortion	Low distortion, highest linearity	Higher distortion, poor linearity than Class A
Bias scheme	Output current flows for 360° of the input	Output current flows somewhere between 180 and 360° of the input
Ruggedness	Amplifier will safely operate without damage regardless of load mismatch	Output limits are generally used to protect the amplifier when operated beyond a stated level of mismatch
AC power to RF power efficiency	Less efficient	More efficient than Class A amplifiers
Construction	More components required to share the heat load	Less components required to share the heat load than Class A amplifiers
Size/Weight	Larger/Heavier	Smaller/Lighter than Class A
Cost	Higher than Class AB	Lower than Class A

**Table 1: Comparison of Amplifier Class of Operation**



**Figure 2: Basic Diagram of a Single Band Amplifier**

backs. Their unique properties allow them to be used in a pulsed mode, that can lower the total required average power, but maximize their peak power and thus reducing cost further. However, TWTAs produce high harmonics, have a greater noise floor, longer purchase lead times, longer repair times, and lower reliability than solid state amplifiers. Some advanced TWTAs combine multiple tubes together to reduce harmonic content and increase total power. Another solution to reduce harmonics is to use filters on the amplifier output.

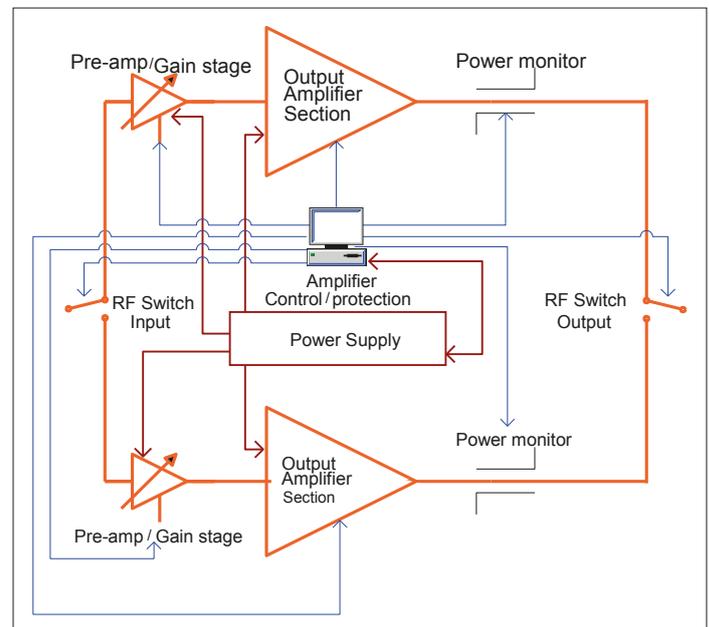
It's important to remember that there are always losses associated with filters that must be considered for amplifier power sizing. The SWR associated with the filters is another consideration, which can cause amplifier foldback.

### Solid State Pulse Amplifiers

The difficulties associated with pulse TWTAs are mitigated with a new, very attractive alternative. Solid State Pulse Amplifiers (SSPAs) now offer high-power RF levels that rival those of TWTAs. AR's SP-series amplifiers include various frequency ranges and output power levels to meet several standards and user requirements. These solid-state pulse amplifiers offer higher reliability, better mismatch tolerance, much better harmonic distortion, and better MTBF (Mean Time Between Failure) than TWTAs.

### Dual Band Amplifiers

If a single band amplifier is not available over a desired frequency band, a dual band amplifier may be an attractive



**Figure 3: Basic Diagram of a Dual Band Amplifier**

solution. A dual band amplifier consists of two amplifiers that are combined into one "box" with a single I/O interface, RF input and output, and two bandwidths equivalent to the two amplifiers it replaced. This approach simplifies the test setup.

While on the surface the system seems simplified, a closer look within the "box" reveals a different story. While the two amplifier modules in a dual-band amplifier may share a common power supply, the overall system is complicated by the fact that it now consists of not one, but two complex amplifier modules. Furthermore, additional RF switching, cabling and connectors

are required which will adversely affect the RF output of both amplifiers. The additional components add insertion loss that may not present a problem at lower frequencies but can account for significant losses at higher frequencies. Also, simultaneous signal generation across the entire band is not possible, due to the required switching from one frequency band to the other. So, as you can see there are pros and cons to dual band amplifiers.

Figure 2 and Figure 3 show the schematic differences between a single band and dual band amplifier, respectively. ◀

# Integrierte Transceiver vereinfachen die Entwicklung von Basisstationsempfängern



**Empfänger für Mobilfunk-Basisstationen zu entwickeln, kann sich als schwierige Aufgabe erweisen.**

Obwohl die Eigenschaften von typischen Empfängerbestandteilen wie Mischern, rauscharmen Verstärkern (LNAs) und A/D-Wandlern im Laufe der Zeit schrittweise weiter verbessert werden konnten, haben sich die Architekturen nur unwesentlich verändert. Aufgrund der begrenzten Architekturauswahl blieb es Entwicklern von 2- bis 5-G-Basisstationen bisher verwehrt, differenzierte Produkte auf den Markt zu bringen.

Jüngste Produktentwicklungen, speziell aber integrierte Transceiver, haben die bisherigen Einschränkungen selbst der schwierigsten Basisstationsentwicklungen entspannt. Dank der neuen Basisstationsarchitektur dieser Transceiver erhalten Entwickler mehr Auswahl und

Möglichkeiten, um Produkte zu differenzieren.

## Unterstützung aller Mobilfunkstandards

Die Mitglieder der im Folgenden erläuterten Familie integrierter Transceiver sind die branchenweit ersten Bauteile, die alle existierenden Mobilfunkstandards, von 2G bis 5G, unterstützen und den gesamten Sub-6-GHz-Abstimmbereich abdecken. Beim Einsatz der Transceiver können Entwickler von Mobilfunk-Basisstationen eine einzige kompakte Funkentwicklung für alle Frequenzband- und Leistungsvarianten nutzen.

Zum besseren Verständnis werden zunächst mehrere Basisstationsklassen betrachtet. Die bekannte Normungsorganisation

3GPP (3rd Generation Partnership Project) kennt mehrere definierte Basisstationsklassen mit verschiedenen Namen. Im weitesten Sinne bieten die größten Basisstationen, auch Wide Area Base Stations (WA-BS) genannt, die größte geografische Abdeckung und unterstützen die meisten Nutzer. Außerdem liefern sie die größte Ausgangsleistung und müssen die höchste Empfängerempfindlichkeit aufweisen. Jede kleinere Basisstation benötigt weniger Ausgangsleistung und stellt geringere Anforderungen an die Empfängerempfindlichkeit.

Darüber hinaus definiert die Normungsorganisation 3GPP auch verschiedene Modulationsverfahren. Vereinfacht gesagt, bietet sich eine sinnvolle Aufteilung von Modulationsverfahren in Nicht-GSM (einschließlich LTE- und CDMA-Modulationsarten) und GSM-Modulation – speziell Multi-Carrier-GSM (MC-GSM) an.

Von den beiden weit verbreiteten Konzepten ist GSM das anspruchsvollste hinsichtlich HF- und Analog-Leistungsdaten. Da sich Funkssysteme mit höherem Durchsatz inzwischen weiter verbreitet haben, ist MC-GSM zur Norm gegenüber Single-Carrier-GSM geworden. Im Allgemeinen kann ein Frontend in einer Basisstation, die MC-GSM-Performance unterstützt, auch mit Nicht-GSM-Performance umgehen. Für MC-GSM

	Nicht-GSM Basisstation	GSM-Basisstation
Größte geografische Abdeckung, Nutzerzahl und Ausgangsleistung sowie höchste Empfindlichkeit	Macro oder Wide Area	Normal
	Medium	Micro
Geringere geografische Abdeckung, weniger Nutzer, niedrigere Ausgangsleistung und entspannte Empfindlichkeit	Local Area oder Small Cell	Pico

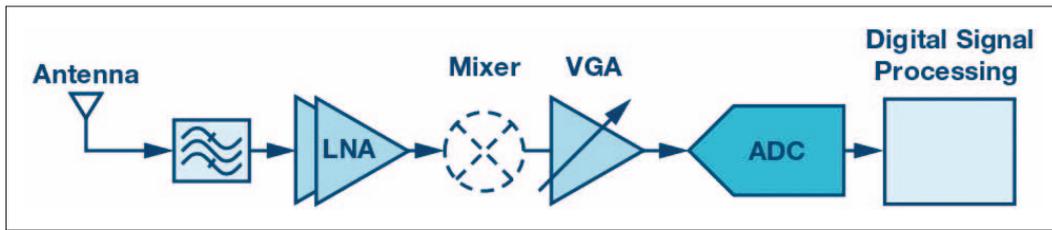


Bild 1. Typische diskret aufgebaute Empfängersignalkette, vereinfacht

geeignete Träger haben mehr Flexibilität bei Marktchancen.

## Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationen

Bisher hat man Basisstationen mit diskreten Bauteilen aufgebaut. Bei Analog Devices ist man überzeugt, dass die heute verfügbaren integrierten Transceiver viele diskrete Bauteile ersetzen können und zugleich Systemvorteile bieten. Zunächst sind jedoch die Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationen zu betrachten.

Die Wide-Area- oder Macrobase-Station ist seit jeher die anspruchsvollste und teuerste Empfängerentwicklung sowie das Arbeitstier für drahtlose Kommunikationsnetze. Doch was macht sie so anspruchsvoll? Mit einem Wort gesagt: die Empfindlichkeit.

Ein Basisstationsempfänger muss die gewünschte Empfindlichkeit unter bestimmten Bedingungen erreichen. Die Empfindlichkeit drückt aus, wie gut ein Basisstationsempfänger ein gewünschtes schwaches Signal von Mobilgeräten demodulieren kann. Sie ist ausschlaggebend dafür, wie weit eine Basisstation maximal von einem Mobilgerät entfernt sein kann, bis die Verbindung abreißt. Es gibt zwei

Kategorien der Empfindlichkeit: Statische Empfindlichkeit ohne externe Interferenzen und Dynamische Empfindlichkeit mit Interferenzen.

Im Folgenden geht es zunächst um die statische Empfindlichkeit. Im Sprachgebrauch der Ingenieure wird die Empfindlichkeit durch die Systemrauschzahl (NF) bestimmt. Eine niedrigere Rauschzahl bedeutet bessere Empfindlichkeit. Die gewünschte Empfindlichkeit lässt sich erreichen, indem man die Verstärkung erhöht, um die angestrebte Systemrauschzahl zu erzielen. Für die Verstärkung ist ein teures Bauteil, der LNA, zuständig. Mit zunehmender Verstärkung steigen die Kosten und die Leistung des LNAs.

Leider erfordert die dynamische Empfindlichkeit einen Kompromiss. Dynamische Empfindlichkeit bedeutet, dass die statische Empfindlichkeit sich bei Interferenzen verschlechtern kann. Interferenzen sind alle unerwünschten Signale am Empfänger. Dazu gehören Signale außerhalb des Systems oder Signale, die der Empfänger unbeabsichtigt erzeugt, zum Beispiel Intermodulationsprodukte. Linearität in diesem Zusammenhang beschreibt, wie gut ein System mit Interferenzen umgehen kann.

Bei Interferenzen verliert ein System genau die Empfindlich-

keit, die so schwer zu erzielen war. Dieses Zugeständnis verschlimmert sich mit zunehmender Verstärkung, da diese normalerweise mit einer niedrigeren Linearität einhergeht. Kurz gesagt: Zu viel Verstärkung beeinträchtigt die Linearität, was eine Verschlechterung der Empfindlichkeit bei starken Interferenzen bewirkt.

Drahtlose Kommunikationsnetze sind so aufgebaut, dass sich die größte Netzwerklast auf der Seite der Basisstation und nicht auf der Mobilgeräteseite befindet. Wide-Area-Basisstationen (WA-BSs) sind für eine Netzabdeckung über große Bereiche ausgelegt und erzielen eine ausgezeichnete Empfindlichkeit. Eine WA-BS muss die beste statische Empfindlichkeit aufweisen, um den Betrieb von Mobilgeräten am Zellenrand zu ermöglichen, wo das Signal der Geräte nur sehr schwach ist. Andererseits muss bei Interferenzen oder Blocking-Situationen die dynamische Empfindlichkeit einer WA-BS immer noch gut sein. Der Empfänger muss bei einem schwachen Mobilgerätesignal noch immer gute Leistungsdaten aufweisen, selbst wenn ein starkes Signal von einem Mobilgerät in der Nähe der Basisstation Interferenzen erzeugt.

Bei der Signalkette in Bild 1 handelt es sich um einen verein-

fachten, mit diskreten Bauteilen aufgebauten, Systemempfänger. LNA, Mischer und VGA bilden die HF-Eingangsstufe. Die HF-Eingangsstufe ist für eine Rauschzahl von 1,8 dB ausgelegt, während der A/D-Wandler eine Rauschzahl von 29 dB aufweist. Bei der Analyse des Empfängers gemäß Bild 1 wurde die ermittelte Verstärkung der HF-Eingangsstufe auf der X-Achse des Diagramms in Bild 3 aufgetragen, um die Systemempfindlichkeit zu zeigen.

## Integriert schlägt diskret

Im Folgenden wird die in Bild 2 gezeigte, vereinfachte Transceiver-Empfangssignalkette mit dem Empfänger in Bild 1 verglichen. Man kann aus dem grundsätzlichen Aufbau ersehen, dass die Stückliste (BOM) für die Transceiver-Empfangssignalkette weniger umfangreich als die für die mit diskreten Bauteilen aufgebaute Signalkette gemäß Bild 1. Die Transceiver mit zwei Sendern und zwei Empfängern wurden auf einem Chip realisiert.

Hinter der scheinbar einfachen Integration verbirgt sich die Eleganz der Empfängerentwicklung, mit der typisch eine Rauschzahl von 12 dB erreicht wird. Aus Bild 3 ist die Verstärkung der HF-Eingangsstufe gegenüber der statischen Empfindlichkeit für die in Bild 1 und 2 gezeigten Implementierungen ersichtlich. Eine WA-Base-Station arbeitet in der Region, wo die Empfindlichkeit fast die höchsten Anforderungen erfüllt. Im Gegensatz dazu arbeitet eine Small Cell dort, wo der Anstieg der Empfindlichkeitskurve am steilsten ist, während der Standard mit einer kleinen Spanne erreicht wird. Der Transceiver erreicht die gewünschte Empfindlichkeit mit einer wesentlich geringeren HF-Frontend-Verstärkung für die WA-BS und Small Cell.

Wie steht es mit der dynamischen Empfindlichkeit? In der HF-Frontend-Verstärkungsregion, wo man Wide-Area-Basisstationen mit einem Transceiver

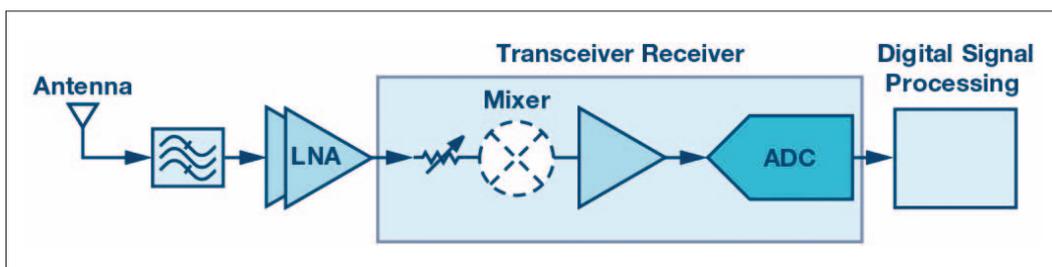
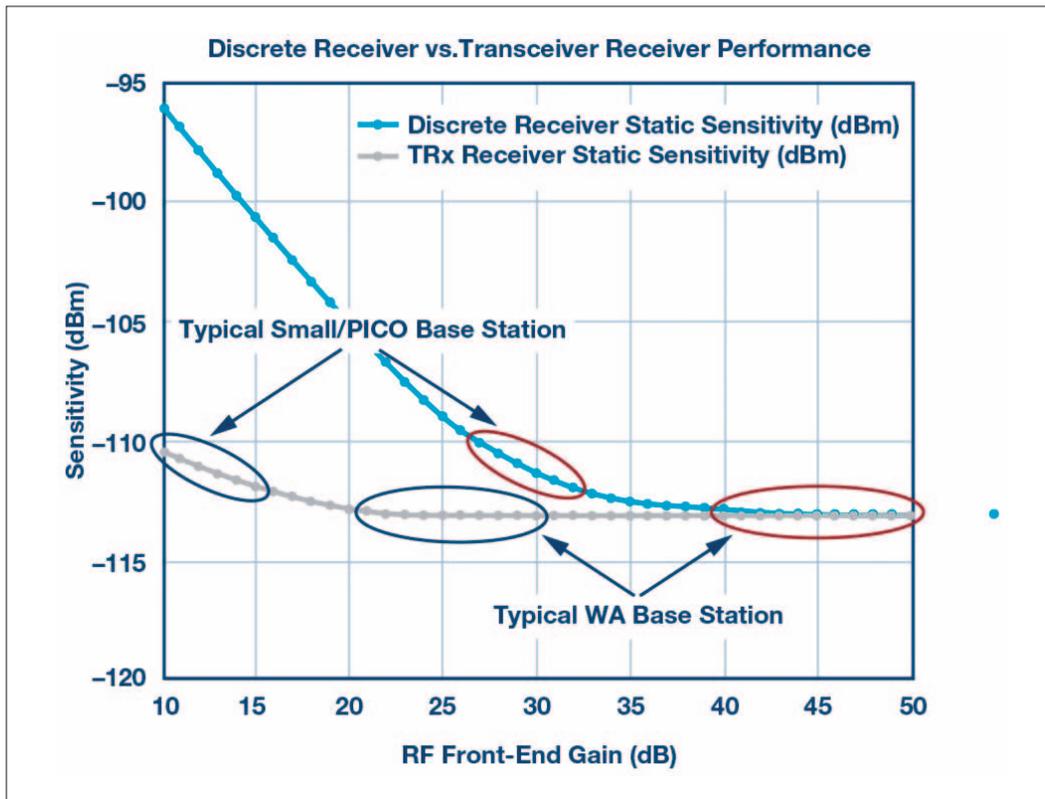


Bild 2. Typische Transceiver/Empfänger-Signalkette, vereinfacht



**Bild 3. Empfindlichkeit diskreter Empfänger gegenüber Transceiver/Empfänger-Empfindlichkeit**

entwickeln würde, ist die dynamische Empfindlichkeit ebenfalls wesentlich besser als die Empfindlichkeit einer diskreten Lösung.

Dies lässt sich darauf zurückführen, dass HF-Eingangsstufen mit niedrigerer Verstärkung gewöhnlich eine höhere Linearität bei einer bestimmten Leistungsaufnahme aufweisen. Bei diskreten Lösungen, die normalerweise mit einer hohen Verstärkung arbeiten, wird die Gesamtlinearität meist durch die der HF-Eingangsstufe bestimmt. Bei Transceiver-Entwicklungen wird die Herabsetzung der Empfindlichkeit aufgrund von Interferenzen gegenüber einer diskreten Lösung deutlich reduziert.

Es ist zu erwähnen, dass Systeme üblicherweise so konzipiert sind, dass sie bei zu starken Interferenzen die Verstärkung so weit herabsetzen, dass die Interferenzen toleriert werden können und andererseits die Verstärkung wieder erhöhen, wenn sich die Interferenzen verringern. Eine geringere Verstärkung reduziert

auch die Empfindlichkeit. Falls ein System die Störer tolerieren kann, ist es oft am besten, eine möglichst hohe Verstärkung beizubehalten, um die Empfindlichkeit zu maximieren.

Zwei herausragende Leistungsmerkmale dieser Transceiver-Klasse sind eine ausgezeichnete Rauschzahl sowie eine höhere Immunität gegenüber Interferenzen. Der Einsatz eines Transceivers in einer Signalkette bedeutet, dass sich eine gewünschte statische Empfindlichkeit mit wesentlich geringerer Eingangsstufenverstärkung erreichen lässt. Zusätzlich bedeutet das geringere Maß an Interferenzen, dass Entwickler eine bessere dynamische Empfindlichkeit erreichen können. Falls dennoch ein LNA erforderlich ist, wird dieser weniger kosten und weniger Leistung aufnehmen. Auch lassen sich verschiedene Entwicklungskompromisse an anderen Stellen im System finden, um die Vorteile dieser Leistungsmerkmale vorteilhaft zu nutzen.

Heute werden konfigurierbare Transceiver angeboten, die Aufgaben sowohl in Wide-Area-

auch in Small-Cell-Basisstationen übernehmen. Analog Devices hält für dieses neue Szenario die Bauteile ADRV9009 und ADRV9008, bereit, die sich bestens für Wide-Area- und Multicarrier-GSM-Basisstationen eignen. Zusätzlich bietet die Familie AD9371 Optionen mit Nicht-GSM (CDMA, LTE) Leistungsdaten und Bandbreite, aber mehr Leistungsoptimierung.

## Schlusswort

Dieser Beitrag ist weit entfernt von einem umfassenden Überblick. Das Thema Empfindlichkeit wird in weiteren Artikeln ausführlicher betrachtet werden. Andere Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationsempfängern sind AGC-Algorithmen, Kanal-Abschätzung (Channel Estimation) und Equalization-Algorithmen. Die Autoren planen, den obigen Beitrag mit einer Serie von technischen Artikeln fortzusetzen. Dabei möchten sie als Ziel verfolgen, den Entwicklungsprozess zu vereinfachen und Empfänger-systeme besser zu verstehen. ◀

## Die Autoren



Jon Lanford (jonathan.lanford@analog.com) arbeitet als System- und Firmware-Verification-Manager in der Transceiver Product Group von Analog Devices in Greensboro. Er ist seit seines Master-Abschlusses in Electrical Engineering an der North Carolina State University im Jahr 2003 beim Unternehmen beschäftigt. Zu seinen bisherigen Engineering-Positionen gehören die Entwicklung von Gigasample-Pipeline-ADCs und Kalibrierungsalgorithmen sowie Testentwicklung für Transceiver.



Kenny Man (kenny.man@analog.com) kann auf Branchenerfahrung zurückblicken, die er in über 25 Jahren gesammelt hat. Angefangen bei der Entwicklung von schnellen Messsystemen und Mobilfunk-Basisstationen bis hin zu Systemapplikationen und Systemarchitekturen für drahtlose Infrastruktur in Unternehmen für Telekommunikations-equipment und Halbleiterherstellern. Aktuell arbeitet er im Product Engineering, wo er Beiträge zu den Funktionsblöcken der Kommunikationsinfrastruktur leisten möchte.

**SmartScan ESD**  
First Automated Immunity Scanner

Gun test failure debugging, component and module ESD qualification.

**SmartScan ESM**  
Emission Source Microscopy (ESM) - Far Field source localization

Server racks, heat sinks

**SmartScan EMI**  
EMI scan with loaded user friendly advanced features

Shielding effectiveness evaluation. Power to field conversion.

**SmartScan CS**  
Current Spreading (CS) - Visualization of Current Flow

Identification of unexpected current path, clamping device performance evaluation.

**SmartZap**  
Robotic ESD gun tester

Repeatable and accurate zaps, automatic contact and air discharge tip change.

**Smart Probes**  
In-house designed, built and individually characterized

Broadband, narrowband, high frequency, low frequency, measurement of all six components (Hx, Hy, Hz, Ex, Ey and Ez)



## Scanning Technologies

ESD Scanning EMI Scanning ◀

RF Immunity Scanning ◀

Resonance Scanning ◀

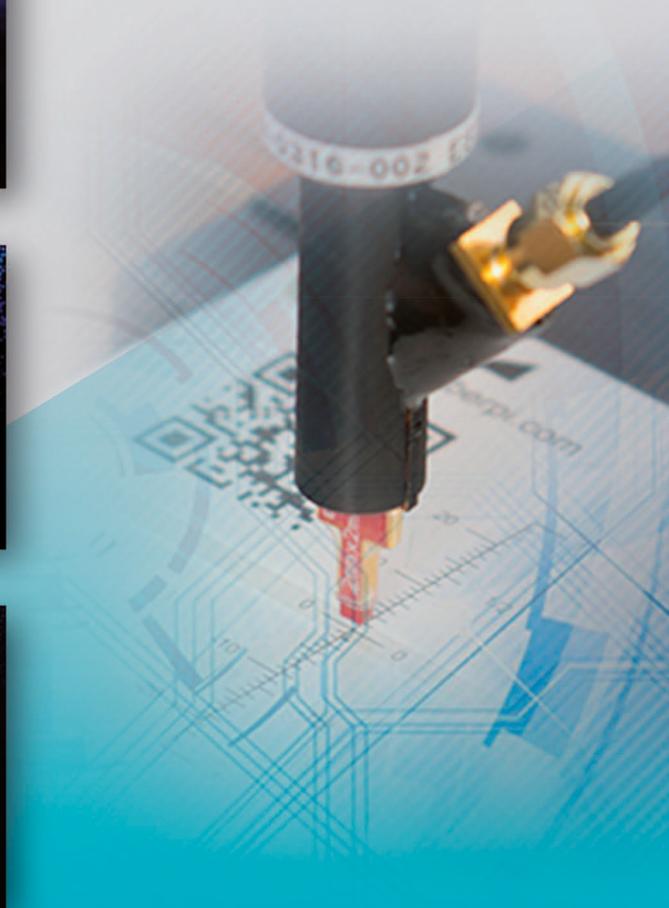
Phase Measurement ◀

NFFT Transformation ◀

Current Spreading Scanning ◀

Emission Source Microscopy ◀

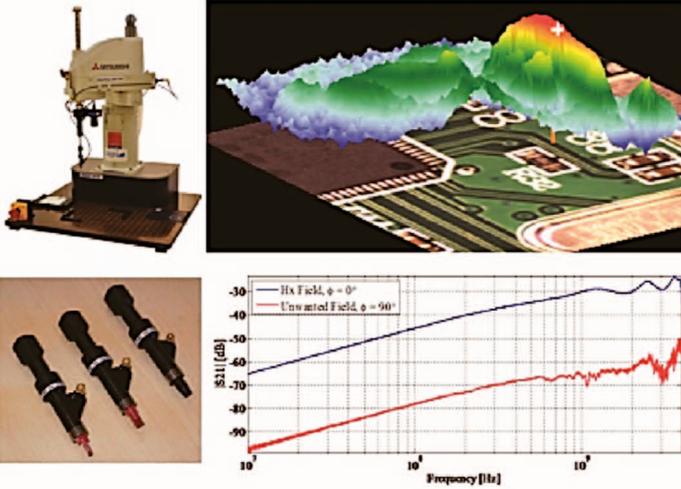
Robotic ESD Gun Tester ◀



## EMI Scan

### SmartScan EMI-350/550

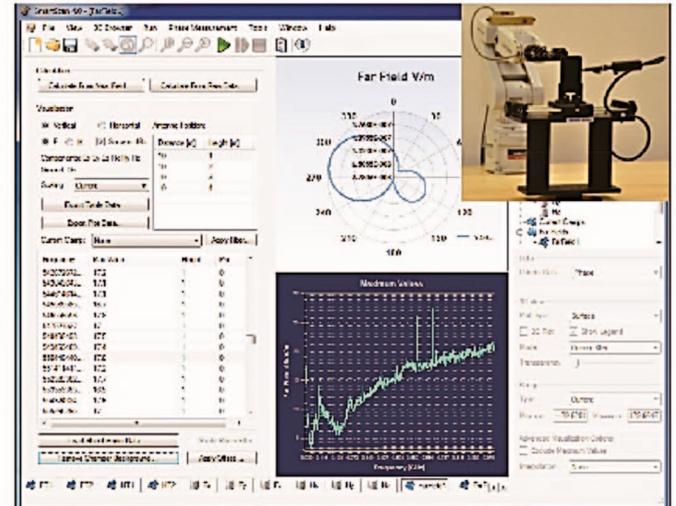
- Wide range of probe selection (lower than 100kHz to higher than 40GHz)
- Non-metallic scan plate and robots from Mitsubishi
- Reliable, intuitive and user friendly SW
- Full list of SA driver support



## NFFF Transformation

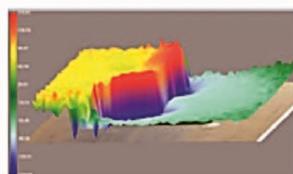
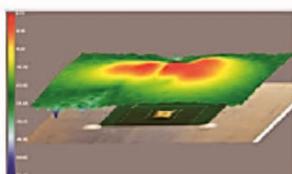
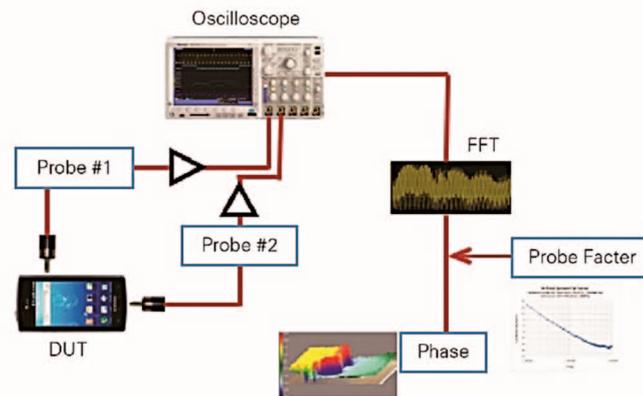
### SmartScan-RE

- Specific application of the phase measurement technology
- Chamber measurement condition control
- Cable RE and 3D FF available
- Suspected frequency list



## Phase Measurement

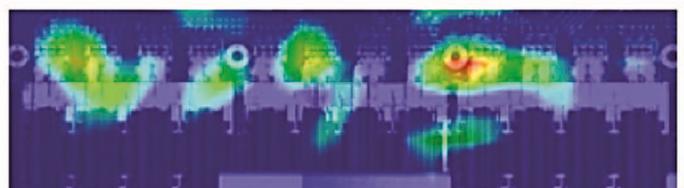
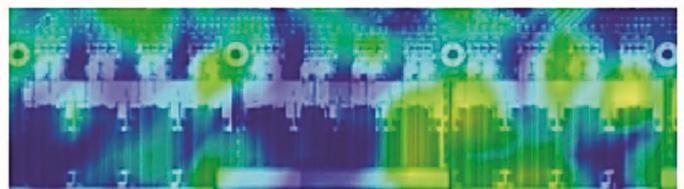
- Automated wide band phase measurement



## Emission Source Microscopy (ESM)

### SmartScan-ESM

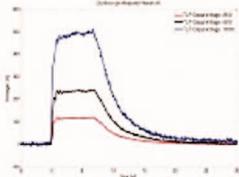
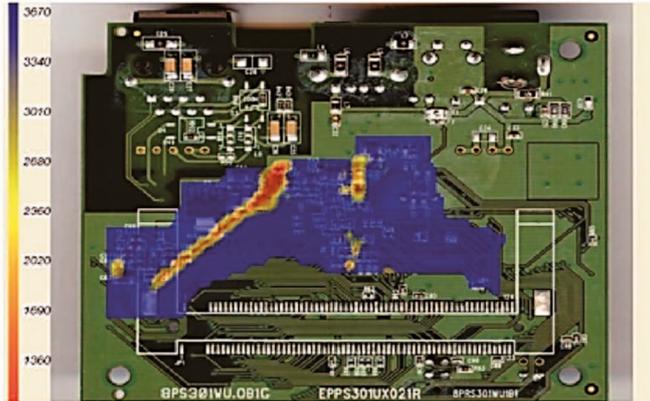
- Application of SAR (Synthetic Aperture Radar) technology to EMC
- FF source identification and FF estimation (above 5GHz)



## ESD Scan

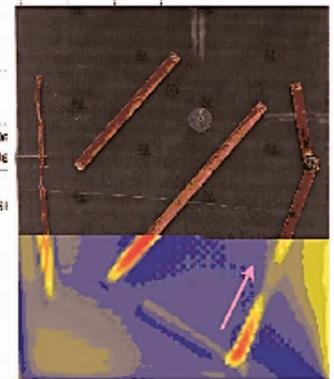
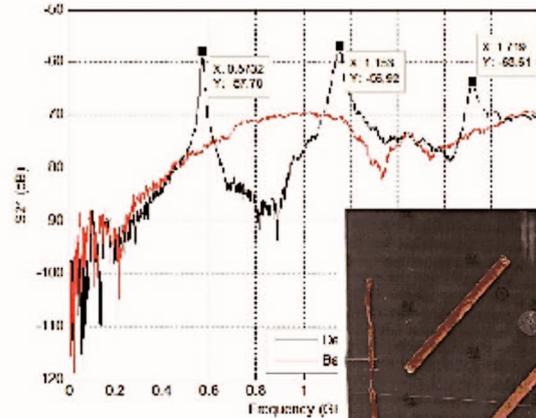
### SmartScan ESD-350/550

- Generation of susceptibility map (reproduces gun test failures)
- Up to 8kV TLP (tr<300 ps)
- Automatic failure detection



## Resonance Scan

- Identifies resonance structures and resonating frequencies
- Single probe for disturbance and reaction measurement

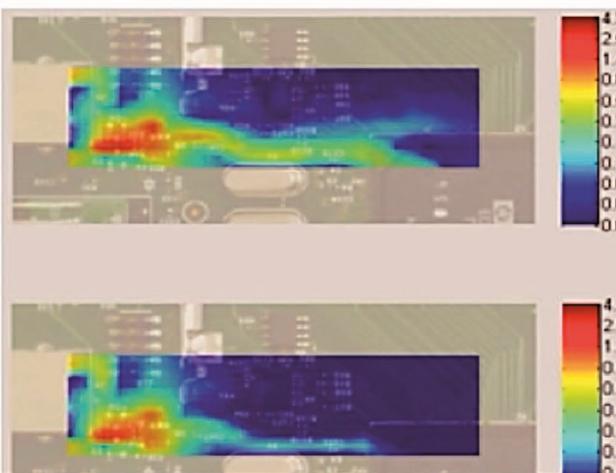


## RF Immunity Scan

- Control of RF power and frequency
- Generation of susceptibility map

## Current Spreading Scan

- Visualizes current flowing



## Robotic ESD Gun Tester

### SmartZap

- Fully automated ESD gun tester with automatic failure detection capability



### Emission • EMI Scan Applications

- Shielding Effectiveness Evaluation
- Field Calculation
- NF emission Source Localization
- Intra-coupling analysis

### Emission • ESM Scan Applications

- Far Field emission source localization
- NF to FF transformation
- TRP calculation

### Emission • Phase Measurement Applications

- NF to FF Transformation
- RFI Analysis

### Immunity • ESD Scan Applications

- ESD failure debugging
- Quality inspection of functionally identical components or modules
- Qualification of components and modules for system level ESD

### Immunity • Current Spreading Applications

- Identifying an effective clamping device placement
- Performance comparison of clamping devices
- Identifying unintended current paths

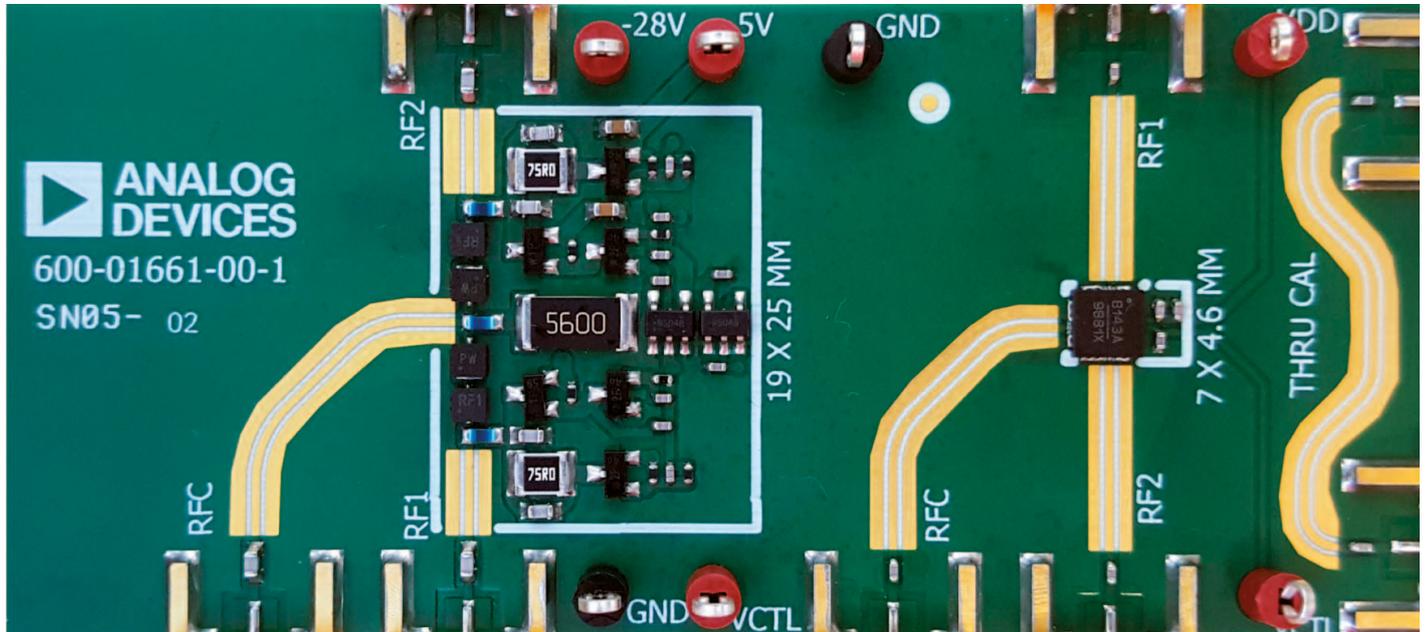
### Immunity • RF Immunity Applications

- Sensitivity analysis of a product to external or internal RF fields.
- Debugging for IEC 61000-4-3 failures or TEM cell tests

#### About API

Amber Precision Instruments (API) is a research oriented IC, module and system level EMC/EMS evaluation tool manufacturer and solution provider equipped with unique combination of IC level and system level expertise. We develop and manufacturer most components and accessories in-house to ensure performance and quality. Combining advantages of measurement and simulation to better understand EMC behavior of electronics is our ultimate goal.

# Hochleistungs-Siliziumschalter erleichtern Frontend-Entwicklungen

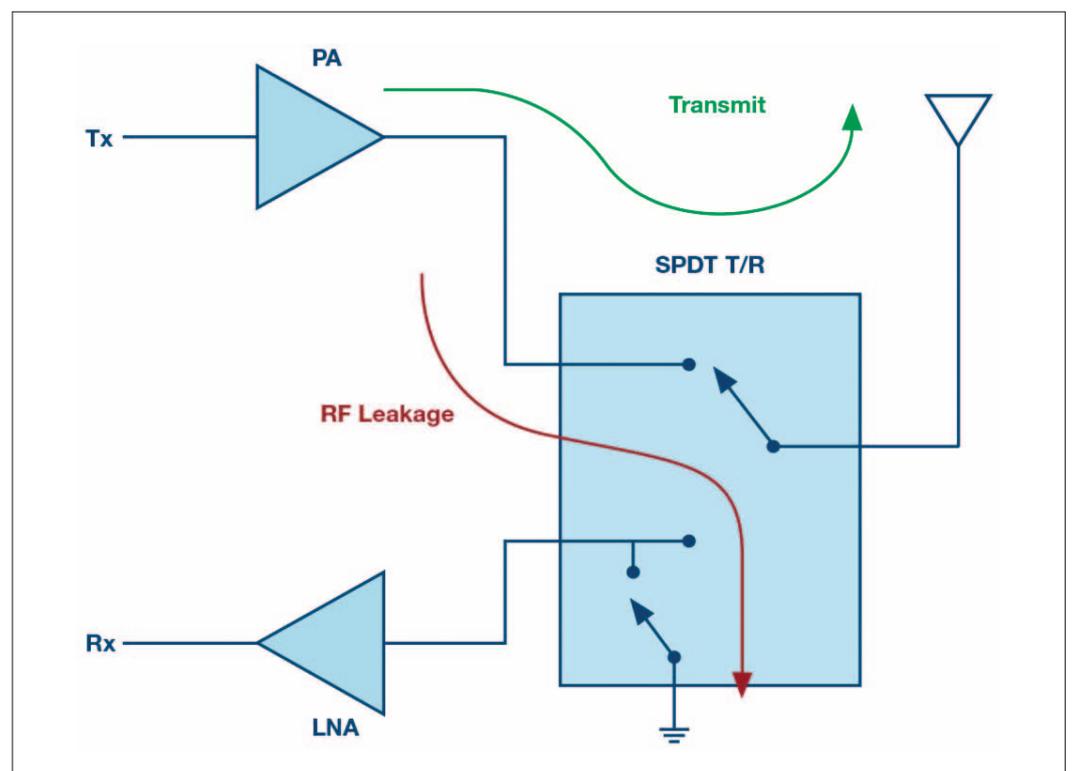


**MIMO-Transceiver-Architekturen (Multiple Input, Multiple Output) sind in der Entwicklung von Hochleistungs-HF-Systemen für die drahtlose Kommunikation weit verbreitet.**

Im 5G-Zeitalter kommen massive MIMO-Systeme, die Mobilfunk-Frequenzbereiche abdecken, in Stadtgebieten zum Einsatz, um den steigenden Bedarf an hohem Datendurchsatz und

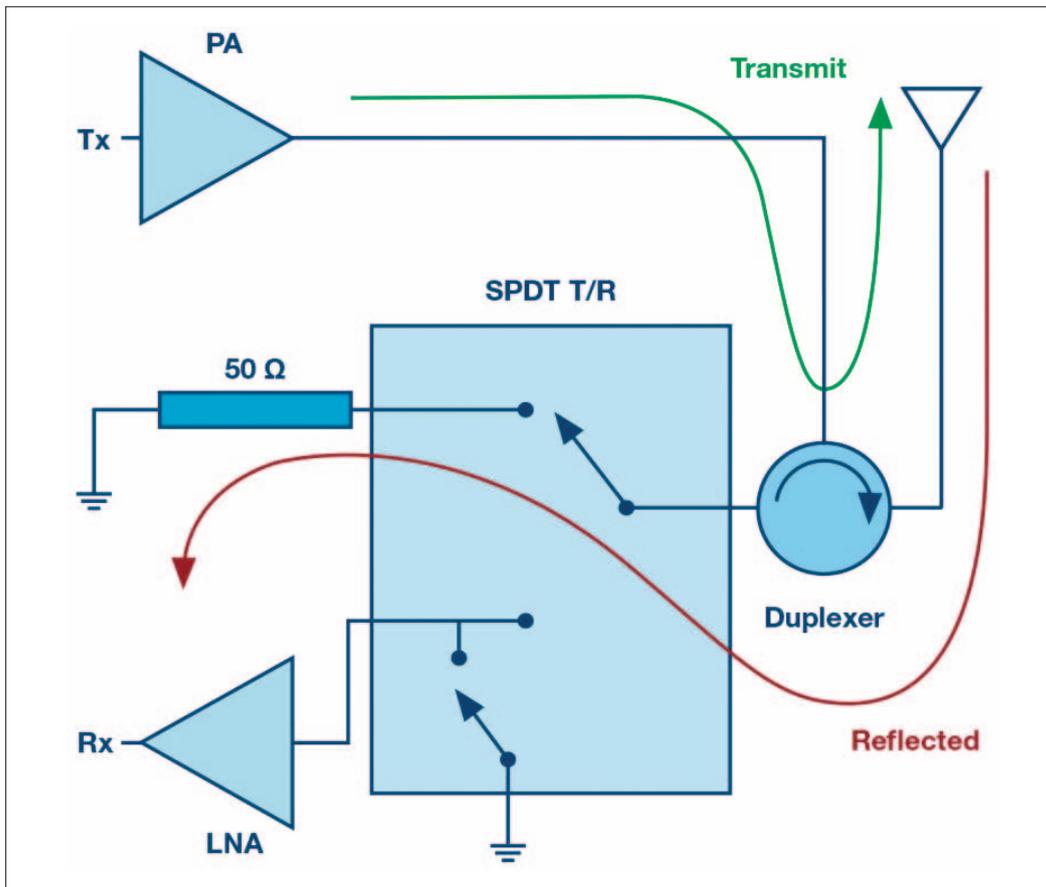
einem neuen Spektrum an Services zu decken. Hochleistungs-Siliziumschalter von Analog Devices helfen bei Frontend-Entwicklungen Bias-Leistung und externe Bauteile zu sparen.

Die Verfügbarkeit von hochintegrierten Einchip-Basisband-Transceivern, wie beispielsweise die neue Produktfamilie ADRV9008/ADRV9009 von Analog Devices, hat diesen



Analog Devices  
www.analog.com

**Bild 1: Antennenschalter**



**Bild 2: LNA-Schutzschalter**

Erfolg ermöglicht. Eine ähnliche Integration mit den Zielen, die Leistungsaufnahme zu senken, ein verbessertes Wärmemanagement zu ermöglichen, sowie die Baugrößen und damit auch die Kosten zu senken, ist im Bereich der Eingangsstufe (Frontend) dieser Systeme noch immer erforderlich, um mehr MIMO-Kanäle unterzubringen.

## MIMO, TDD und PIN

MIMO-Architekturen ermöglichen bei Funktionsblöcken, wie zum Beispiel Verstärkern und Switches, entspanntere HF-Leistungsanforderungen. Mit steigender Anzahl paralleler Transceiver-Kanäle erhöht sich jedoch die Komplexität der Peripherieschaltungen, und es entsteht ein entsprechend höherer Energieverbrauch. Die neuen Hochleistungsschalter von Analog Devices in Siliziumtechnologie sind so aufgebaut, dass sie HF-Frontend-Entwicklungen vereinfachen. Beim Einsatz der Siliziumschalter können Peri-

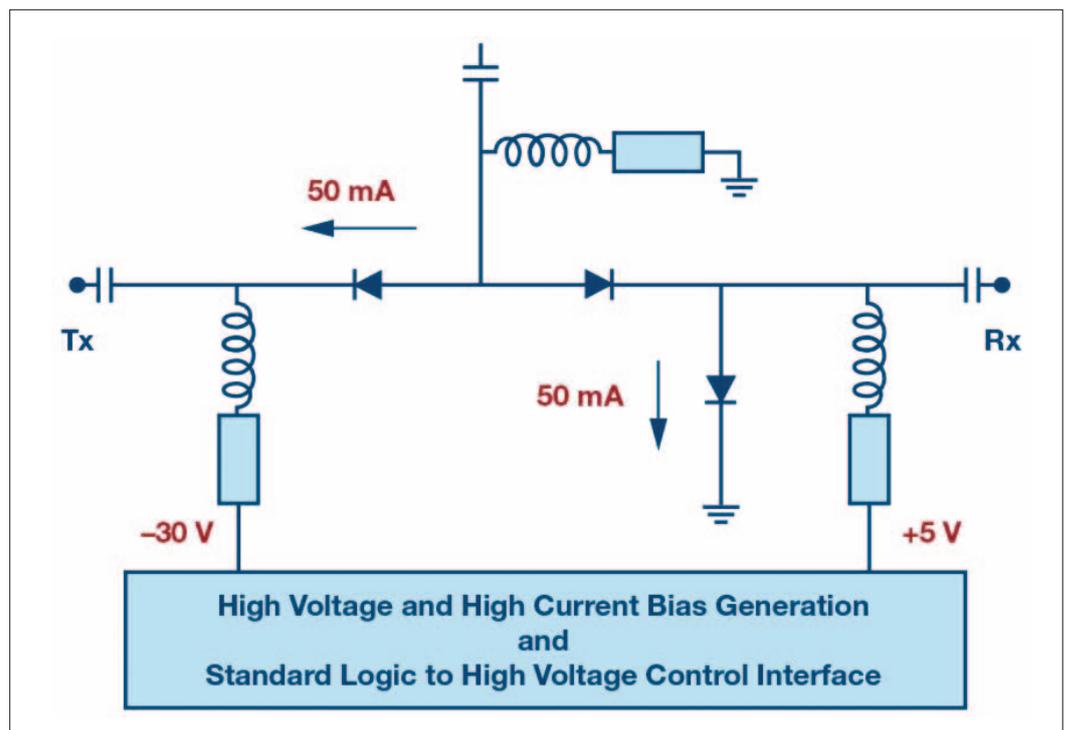
perieschaltungen entfallen und die Leistungsaufnahme wird auf ein vernachlässigbares Maß

gesenkt. Mit ADIs neuen Hochleistungs-Switches in Siliziumtechnologie erhalten HF-Ent-

wickler und Systemarchitekten die Flexibilität, die Komplexität ihrer Systems zu erhöhen, ohne dass dabei die HF-Eingangsstufen zum Engpass in der Entwicklung werden.

In TDD-Systemen (Time Division Duplex) befindet sich eine Schaltfunktion an der Antennenschnittstelle. So lässt sich der Empfängereingang vor übertragener Signalleistung isolieren und schützen. Die Schaltfunktion kann in Systemen mit relativ niedriger Leistung (Bild 1) direkt an der Antennenschnittstelle oder – bei Anwendungen mit höherer Leistung – im Empfangspfad verwendet werden (Bild 2), um einen einwandfreien Abschluss am Duplexer sicherzustellen. Mit einem Shunt an den Ausgängen des Schalters lässt sich dabei die Isolation verbessern.

PIN-Dioden als HF-Leistungsschalter waren aufgrund ihrer niedrigen Einfügungsdämpfung und der Fähigkeit, hohe Leistungen handhaben zu können, die bevorzugte Lösung. Allerdings benötigen PIN-Dioden hohe Vorspannungen sowie hohe Ströme und machen dadurch Probleme bei der Ent-



**Bild 3: PIN-Dioden-Schalter**

Bauteil	Frequenz	Einfügungsdämpfung	Isolation	P <sub>AVRG</sub>	P <sub>PEAK</sub>	Gehäuse
ADRF5130	0,7 bis 3,5 GHz	0,6 (0,7) dB bei 2,7 (3,8) GHz	45 dB bei 3,8 GHz	20 W	44 W	4 × 4 mm
ADRF5132	0,7 bis 5 GHz	0,6 (0,65, 0,9) dB bei 2,7 (3,8, 5) GHz	45 dB bei 3,8 und 5 GHz	3,2 W	20 (10) W bei 3,8 (5) GHz	3 × 3 mm
ADRF5160	0,7 bis 4 GHz	0,8 (0,9) dB bei 2,7 (3,8) GHz	48 dB bei 3,8 GHz	40 W	88 W	5 × 5 mm

**Tabelle 1: Die neue Hochleistungs-Siliziumschalter-Familie von Analog Devices**

wicklung von massiven MIMO-Systemen. Bild 3 zeigt eine typische Schaltung für einen PIN-Dioden-Schalter und die zugehörige Peripherie. Drei diskrete Dioden werden durch ihre Bias-T-Schaltungen vorgespannt und über eine Hochvolt-Schnittstellenschaltung gesteuert.

## ADRV9008 & ADRV9009

Die neuen Hochleistungs-Siliziumschalter von ADI eignen sich für massive MIMO-Entwicklungen besser. Sie arbeiten mit einer Versorgungsspannung von 5 V und einem Biasstrom von unter 1 mA. Außerdem kommen sie ohne externe Bauteile oder Schnittstellenschaltungen aus. Bild 4 zeigt die interne Schaltungsarchitektur. Ein FET-Schaltkreis arbeitet mit niedrigem Bias-Strom und geringen Versorgungsspannungen,

was die Leistungsaufnahme auf vernachlässigbare Werte bringt und das Wärmemanagement auf Systemebene erleichtert. Neben der einfachen Handhabbarkeit erzielt diese Architektur eine bessere Isolation, da sich mehrere Shunt Arme in den HF-Signalfaden befinden.

Das Aufmacherfoto erlaubt den direkten optischen Vergleich eines PIN-Dioden-Schalters mit einem von ADIs neuen Siliziumschalter auf einer einseitigen Leiterplatte. Zu sehen ist, dass der Siliziumschalter nur etwa ein Zehntel so viel Platz benötigt wie die PIN-Dioden-Lösung. Darüber hinaus kommt der Siliziumschalter mit weniger Leistung und ohne Hochleistungswiderstände aus.

ADIs Hochleistungs-Siliziumschalter können HF-Spitzenleistungen von bis zu 80 W handhaben. Dies ist genug, um

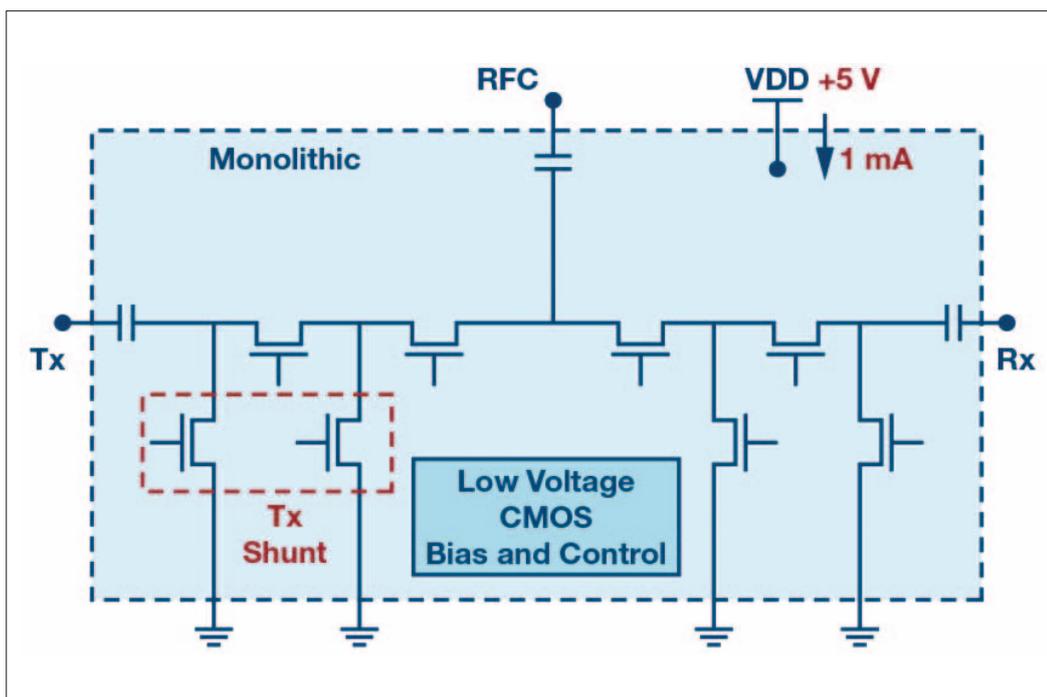
das Spitzen/Durchschnitts-Leistungsverhältnis (Peak-to-Average Power Ratio) einschließlich Reserve für massive MIMO-Systeme abzudecken. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die neue Hochleistungs-Siliziumschalterfamilie, die Analog Devices für unterschiedliche Leistungen und in verschiedenen Gehäusen anbietet. Alle gelisteten Bauteile bieten die Vorteile der Siliziumtechnologie und erzielen gegenüber alternativen Lösungen einen höheren ESD-Schutz sowie eine geringere Abweichung zwischen Bauteilen.

## Ausblick

Massive MIMO-Systeme werden sich kontinuierlich weiterentwickeln, und es wird einen steigenden Bedarf an Lösungen mit noch höherer Integrationsdichte geben. Die neue Hochleistungs-Silizium-Schaltech-

nologie von Analog Devices eignet sich bestens für MCM-Entwicklungen (Multichip Module) und die Integration mit LNAs, um eine komplette Einchip-Lösung für TDD-Empfänger-Frontends anzubieten.

Analog Devices wird auch neue Schaltkreise für noch höhere Frequenzen entwickeln und bei ähnlichen Lösungen für 5G-Systeme in Millimeterwellentechnik vorangehen. Schaltungsentwickler und Systemarchitekten werden von den Vorteilen von ADIs neuen Siliziumschaltern auch in anderen Anwendungen, wie beispielsweise Phased Array Systeme, profitieren, während das Unternehmen sein Produktportfolio mit Hochleistungs-Siliziumschaltern in Richtung X-Band-Frequenzen und höhere, häufig genutzte Frequenzbänder erweitert. ◀



**Bild 4: Siliziumschalter ADRV9008/ADRV9009**

## Der Autor



Bilge Bayrakci (bilge.bayrakci@analog.com) ist Marketing und Produktmanager für HF- und MW-Control-Produkte bei Analog Devices. Seinen Master of Science in Electrical Engineering (MSEE) hat er von der Istanbul Technical University erhalten. Bayrakci hat über 20 Jahre Erfahrung in der Halbleiterindustrie und arbeitet seit 2009 bei Analog Devices.

## Surface-Mount-Richtkoppler für 6 bis 26,5 GHz

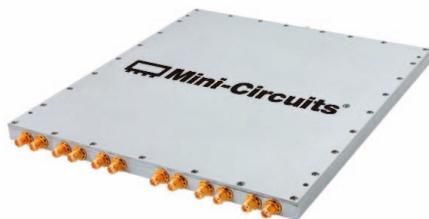


Der Richtkoppler EDC10-273+ von Mini Circuits ist ein Einrichtungs-Surface-Mount-Richtkoppler für Signale im Bereich 6...26,5 GHz und eine Systemimpedanz von 50 Ohm. Der Koppelfaktor beträgt nominell 10 dB bei sehr guter Flatness von typisch  $\pm 1,5$  dB im Einsatzfrequenzbereich. Der Richtkoppler beruht auf GaAs-basierter Technik (MMIC). Die Grundfläche beträgt nur 4 x 4 mm (MCLP 24). Die Durchgangsdämpfung wird mit typisch 1,4 dB angegeben. Es ist keine externe Terminierung erforderlich. Anwendungen finden sich in den Bereichen Satellitenkommunikation, drahtlose Infrastruktur, Test- und Messtechnik.

### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -40 bis +85 °C
- Lagertemperaturbereich -65 bis +150 °C
- Dauereingangsleistung max. dBm
- Richtschärfe im Bereich 18 GHz typ. 15 dB

## Zwölfweg-Leistungsteiler bzw. Combiner für 0,6 bis 6 GHz



Mit dem ZN12PD-63-S+ stellte Mini Circuits einen Zwölfweg-Leistungsteiler bzw. Combiner für 0,6 bis 6 GHz mit 50 Ohm Systemimpedanz vor, der bis zu 20 W aufteilen kann. Ein DC-Pass ist vorhanden. Die Isolation wird mit typisch 19 dB angegeben. Das Gehäuse aus Aluminium misst 8,5 x 9,5 x 0,5 Inches und ist mit SMA-Anschlüssen ausgestattet. Dieses Bauteil bedient alle zellularen Systeme einschließlich LTE und WiFi. Die Einfügedämpfung wird mit 1,4 bis 3 dB über dem theoretischen Wert angegeben. Der DC-Pass teilt maximal 1,2 A gleichmäßig auf.

### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Lagertemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Ausgangs-SWR typ. 1,4
- Amplituden-Unbalance bis 3 GHz typ. 0,7 dB
- Phasen-Unbalance bis 3 GHz typ. 8°

## Bidirektionaler Richtkoppler für hohe Leistungen



Der Zweirichtungs-Richtkoppler ZGBDC10-372HP+ von Mini Circuits ist für Signale im Bereich 380 bis 3700 MHz mit Leistungen bis 250 W und in Systemen mit einer Impedanz von 50 Ohm ausgelegt. Der Koppelfaktor beträgt nominell 10 dB. Die Durchgangsdämpfung wird für Frequenzen über 2,7 GHz mit typisch 0,18 dB über dem theoretischen Wert angegeben, die Rückflussdämpfung mit typisch 24 dB. Ein DC von bis zu 3 A ist zusätzlich möglich. Anwendungen für den ZGBDC10-372HP+ finden sich in den populären Cellular-Technologien wie LTE oder WiMAX, aber auch in der Test- und Messtechnik.

### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Lagertemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Koppelfaktor-Flatness im Bereich 380...600 (600...2700, 2700...3700) MHz typ. 1 (0,2, 0,1) dB
- Richtschärfe im Bereich 380...600 (600...2700, 2700...3700) MHz typ. 38 (29, 24) dB
- Eingangsleistung bei Frequenzen über 2,7 GHz max. 150 W

## Breitbandiger Richtkoppler für bis zu 20 W

Der Richtkoppler ZCDC13-K0244+ von Mini Circuits ist ein robuster 50-Ohm-Einrichtungs-Surface-Mount-Richtkoppler für Signale im Frequenzbereich 2...40 GHz und besitzt einen DC-Pass für bis zu 600 mA. Der Koppelfaktor beträgt nominell 13 dB

bei äußerst guter Flatness von typisch  $\pm 0,6$  dB und maximal  $\pm 0,8$  dB im gesamten Einsatzfrequenzbereich. Dieser Richtkoppler hat Abmessungen von rund 57 x 18 x 13 mm ohne Anschlüsse. Die Durchgangsdämpfung wird mit typisch 0,6 dB bis 1,5 dB je nach Frequenz angegeben. Anwendungen für den Richtkoppler ZCDC13-K0244+ finden sich in vielen Bereichen, wie Satellitenkommunikation, drahtlose Infrastruktur, Test- und Messtechnik und 5G.



### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Lagertemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Richtschärfe typ. 20 dB bis 29 dB je nach Frequenz
- Rückflussdämpfung (in/out) typ. 23 dB bis 30 dB je nach Frequenz

## Bidirektionaler Richtkoppler für 2...6 GHz und bis zu 140 W



Der Richtkoppler BDCH20-63A+ von Mini Circuits ist ein Zweirichtungs-Richtkoppler für Signale im Bereich 2...6 GHz und eine Systemimpedanz von 50 Ohm. Der Koppelfaktor beträgt nominell 20 dB (typisch 18  $\pm 1$  dB) bei exzellenter Flatness von typisch  $\pm 0,5$  dB im Einsatzfrequenzbereich. Der Richtkoppler zeichnet sich weiter durch eine hohe Richtschärfe (Nennwert 29 dB) aus. Die Durchgangsdämpfung wird mit typisch 0,15 dB angegeben. Der DC-Pass lässt bis zu 2 A zu. Anwendungen finden sich in den

## Bauelemente

Bereichen Satellitenkommunikation, drahtlose Infrastruktur, Test- und Messtechnik.

### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -55 bis +105 °C
- Lagertemperaturbereich -55 bis +105 °C
- Dauereingangsleistung bei Gehäusetemperatur unter 95 (105) °C max. 110 (80) W
- Richtschärfe min. 22 dB
- Rückflusdämpfung (in/out/coupling) typ. 26 dB
- Rückflusdämpfung (in/out/coupling) min. 16 dB
- Wärmewiderstand typ. 0,3 K/W

### Koaxialer Abschlusswiderstand für Frequenzen bis 50 GHz

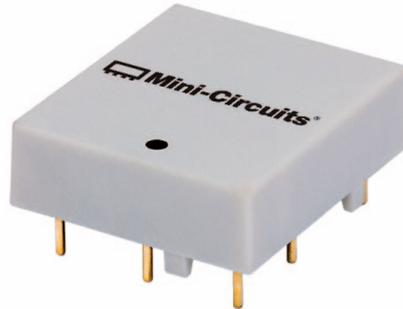


Der koaxiale Abschlusswiderstand ANNEF-50V+ von Mini Circuits ist für Frequenzen von 0 bis 50 GHz geeignet und hat 50 Ohm Wirkwiderstand. Der Anschluss ist ein 2,4-mm-Connector, female. Damit ist Anschlusskompatibilität zu den Systemen 1,85 mm, 3,5 mm und SMA gegeben. Die Rückflusdämpfung wird mit nominell 20 dB angegeben, typische Werte sind jedoch bei 10 (100, 1000, 3000) MHz 43,34 (42,34, 41,47, 26,73) dB. Bei 50 GHz werden immer noch 23 dB erreicht. Der Einsatztemperaturbereich wie der Lagertemperaturbereich reicht von -55 bis +100 °C, die Dauereingangsleistung darf maximal 1 W betragen.

### Plug-in-Diplexer für 5 bis 1220 MHz

Der neue Diplexer DPLC-6585A0M+ von Mini Circuits ist für Signale mit Frequenzen im Bereich 5...1220 MHz geeignet und für eine Systemimpedanz von 75 Ohm ausgelegt. Die Teilfrequenzbereiche sind nomi-

nell 5...65 und 85...1220 MHz. Der Diplexer DPLC-6585A0M+ ist zwar für den Feldeinsatz geeignet, aber auch ein High-Performance-Produkt. Anwendungen finden sich in den Bereichen Multiband-Kommunikation und Kabel-TV (DOCSIS 3.1).



### Weitere wichtige Daten

- Einsatztemperaturbereich -40 bis +85 °C
- Lagertemperaturbereich -55 bis +100 °C
- Dauereingangsleistung max. 30 dBm
- Einfügedämpfung typ. 1 dB, max. 1,5 dB

### 50-Ohm-Bandpassfilter für Bänder zwischen 27 und 86 GHz



Von Mini Circuits und Virginia Diodes kommen mit der neuen Serie WVBP Hohlleiter-Bandpassfilter für diverse Bänder zwischen 27 und 86 GHz. Die Systemimpedanz beträgt 50 Ohm, die Einfügedämpfung wird mit typisch 0,5 dB, die Rückflusdämpfung mit typisch 26 dB angegeben. Der Einsatztemperaturbereich ist -40 bis +85 °C.

- Mini Circuits  
[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com)

## 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

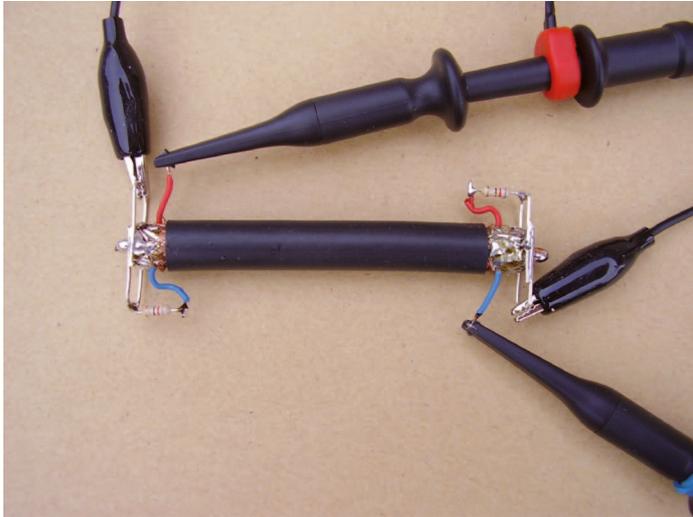
- Multilayer Breitbandabsorber
- Frequenzbereich ab 0,8GHz
- Reflectivity-Level -17db oder besser
- Temperaturbereich bis 90°C
- Standardabmessung 610mm x 610mm

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

Erklärungen skeptisch hinterfragt:

# Wie funktioniert ein Leitungsrichtkoppler?



**Richtkoppler lassen sich nach verschiedenen baulichen Konzepten realisieren. Sehr bekannt sind Transformator- und Leitungsrichtkoppler. Obwohl letzterer im Aufbau überaus schlicht wirkt, sind dem Autor drei recht verschiedene Funktionsbeschreibungen aufgefallen, die er hier näher beleuchtet.**

Der Leitungsrichtkoppler nutzt als Grundelement ein HF-Leitungsstück (Koaxialleitung, Streifenleitung). Dabei spricht man von Hauptleitung (Main Line), Hauptarm oder Durchgangsleitung. In diese Leitung wird beim Koaxialkabel zwischen Seele und Schirm eine Nebenleitung (Auxiliary Line) eingefügt, auch Koppelleitung genannt, Nebenarm oder gar Koppelschleife/-plättchen genannt. Bei Mikrostreifenleitungen liegen die Leitungen tatsächlich nebeneinander. Die Nebenleitung wirkt wie eine Empfangsantenne, daher auch

die Bezeichnung Antennenkoppler. Die Nebenleitung ist offensichtlich elektromagnetisch, also sowohl elektrisch (kapazitiv) als auch magnetisch (induktiv), mit der Hauptleitung gekoppelt. Die Kopplung wird durch die Geometrie bestimmt.

## Erklärungsversuche über Strom und Spannung

Die Funktion eines Richtkopplers wird auf [1] anhand von Bild 1 „vereinfacht“ folgendermaßen erklärt: „Die HF-Leistung, die vom Verstärker zur Last fließt (vorlaufende Welle), hat ein radiales elektrisches Feld (E-Feld) zwischen Innen- und Außenleiter (Masse) zur Folge. Ein kleiner Teil dieses Feldes koppelt kapazitiv vom Innenleiter auf das Koppelplättchen zwischen R1 und R2. Über die Kapazität zwischen Innenleiter und Koppelplättchen fließt dadurch ein hochfrequenter Strom, welcher über die metallischen Abstandshalter links und rechts jeweils zur Hälfte gleichmäßig durch die Widerstände R1 und R2 nach Masse fließt (vorausgesetzt, R1 und R2 sind gleich und bestenfalls beide reell 50 Ohm). Wir

nennen den von der kapazitiven Kopplung entstehenden Spannungsanteil an den Widerständen  $+U_{kap}$ , der an beiden Widerständen für die vorlaufende Welle positiv und gleich groß ist.

Neben dem elektrischen Feld entsteht aber beim Leistungstransport der vorlaufenden Welle vom Verstärker zur Last auch ein Magnetfeld (H-Feld), welches senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Welle im Uhrzeigersinn rund um den Innenleiter geht, bis es vom Außenleiter begrenzt wird. Ein kleiner Teil dieses Magnetfeldes geht auch durch die Koppelschleife, welche mit dem Koppelplättchen, den leitfähigen Abstandshaltern, den Widerständen R1 und R2 gegen Masse und der Masseverbindung der beiden Widerstände einen geschlossenen Stromkreis bildet. Der sogenannte magnetische Fluss, welcher durch die so gebildete Koppelschleife fließt, induziert in dieser einen Strom  $I_{ind}$ , welcher aufgrund der physikalischen Gesetze so fließt, dass er beim Durchfließen des Widerstands R1 eine positive Spannung  $U_{ind}$  am Tor 1 erzeugt. Danach fließt der induzierte Strom weiter über

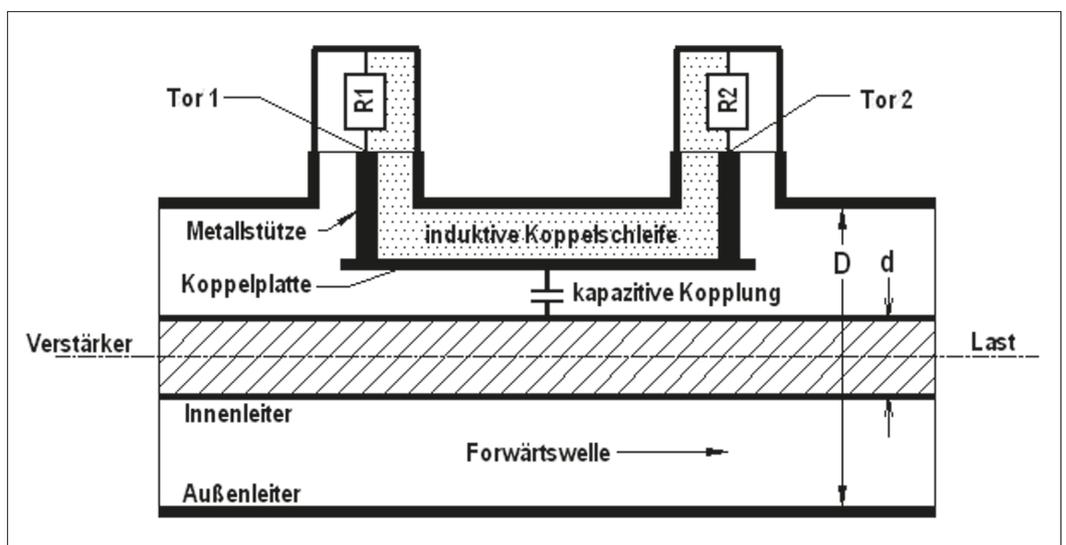


Bild 1: Aufbau eines Zweitor-Richtkopplers [1]

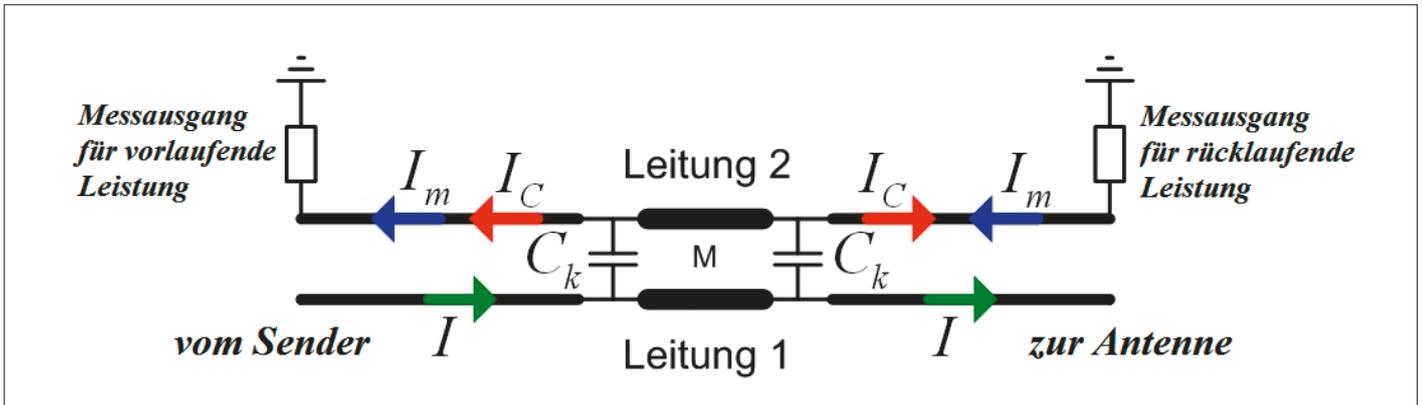


Bild 2: Funktionserklärung anhand der Ströme [2]

die Masseverbindung zu R2, und zwar in umgekehrter Richtung wie durch R1, um wieder zum Koppelplättchen zurückzukommen. Durch den umgekehrten Stromfluss durch R2 entsteht hier die Spannung  $-U_{ind}$ .

Wenn man nun durch eine geeignete Geometrie und gleiche Abschlusswiderstände R1 und R2 erreicht, dass  $U_{kap}$  und  $U_{ind}$  gleich groß sind, addieren diese sich an Tor 1 zur doppelten Spannung, während sie sich an Tor 2 gegenseitig auslöschen. Das bedeutet, dass die vorlaufende Welle nur am Widerstand von Tor 1 eine Spannung erzeugt, während am Tor 2 keine Spannung entsteht. Für die rücklaufende Welle mit glei-

cher Richtung des E-Feldes, aber umgekehrter Drehrichtung des H-Feldes gilt dies nun genau umgekehrt: Hier addieren sich die kapazitive und induktive Kopplung am Tor 2 und sie löschen sich am Tor 1 aus.

Demnach basiert ein solcher Richtkoppler also auf der Addition (Phasengleichheit) und Kompensation (Gegenphasigkeit) von kapazitiv und induktiv ausgekoppelten Komponenten. Mit einer Zeichnung (Bild 2) wird dies auf [2] transparent gemacht und wie folgt erklärt: „Es tritt sowohl induktive als auch kapazitive Kopplung auf, deren Stärke durch den Abstand bestimmt ist. Bei einem idealen Richtkoppler sind induktive

und kapazitive Kopplung exakt gleich groß. Ein Signal auf Leitung 1 (dargestellt durch den gerichteten Strompfeil  $I$  grün) hat auf Leitung 2 eine gleichtaktförmige induktive Koppelkomponente ( $I_m$ , blau) zur Folge, die wegen der Lenz'schen Regel entgegengesetzt ist, und eine gegen-taktförmige kapazitive Koppelkomponente ( $I_C$ , rot), die nicht orientiert ist. An jedem der beiden Messwiderstände addieren sich die Ströme phasenrichtig (konstruktive bzw. destruktive Interferenz) und erzeugen dazu proportionale Spannungen, die ein Maß für die fließende Leistung sind. Wenn die Wellenimpedanz des Koaxkabels mit der Impedanz der Antenne übereinstimmt (Stehwellenverhältnis =

1), erscheint am rechten Messausgang kein Ausgangssignal.

Hier wird auf die durch kapazitive Kopplung ursächlich entstehende Spannung verzichtet und gleich der durch diese Spannung entstehende Strom herangezogen, was die Betrachtung etwas vereinfacht. So erklärt es auch Wikipedia. Eine gesonderte Erklärung für die rücklaufende Welle erfolgt nicht. Diese scheint auf den ersten Blick auch nicht nötig, denn ein derartiger Koppler ist ja in jeder Hinsicht symmetrisch aufgebaut, sodass eine von der anderen Seite einlaufende Welle logischerweise eine bzw. keine Spannung jeweils am anderen Widerstand aufbauen muss. Ähnlich ist es ja bei [1], wo lediglich eine „umgekehrte Drehrichtung des H-Feldes“ bei der reflektierten Welle erwähnt wird.

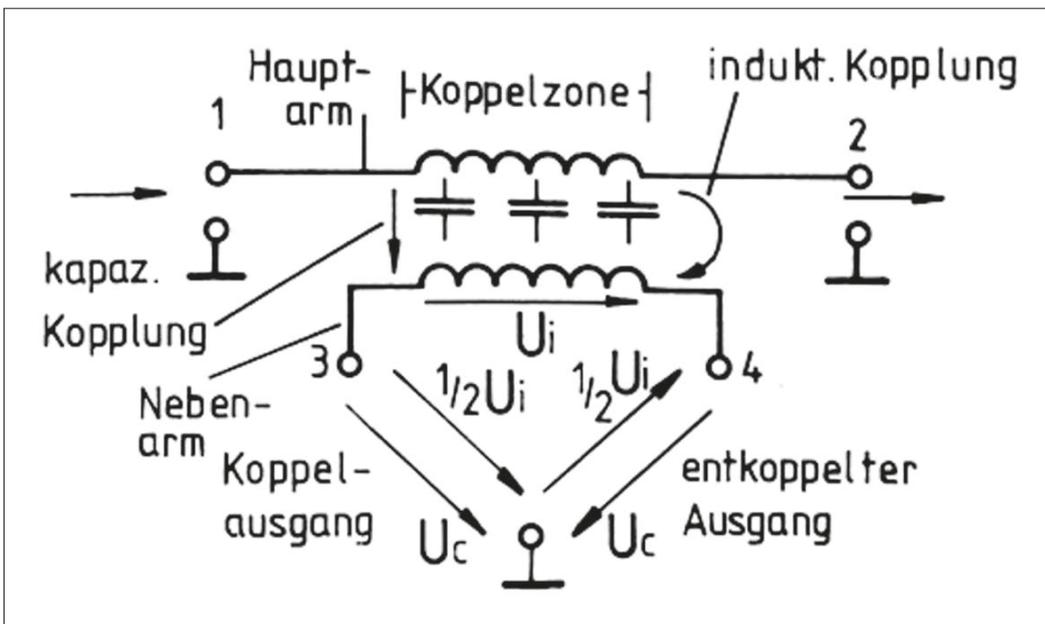


Bild 3: Der Leitungskoppler mit seinen ausgekoppelten Spannungen für die hinlaufende Welle [3]

Nach [3] kann das System Main Line und Auxiliary Line als Transformator aufgefasst werden, dessen Besonderheit darin besteht, dass er bei optimaler Dimensionierung eine gleich große kapazitive wie induktive Auskoppelleistung bereitstellt, s. Bild 3: „Die Ursache für das Vorhandensein eines entkoppelten Ausgangs liegt in der gemischten Kopplung, nämlich kapazitiver und induktiver Kopplung zwischen Hauptarm und Nebenarm. ...  $U_{vor}$  erzeugt durch kapazitive Kopplung auf dem Nebenarm eine Spannung  $U_c$ , die an allen Stellen des Nebenarms gegen Masse, insbesondere an Punkt 3 gegen Masse und Punkt 4 gegen Masse gleiche Richtung hat.

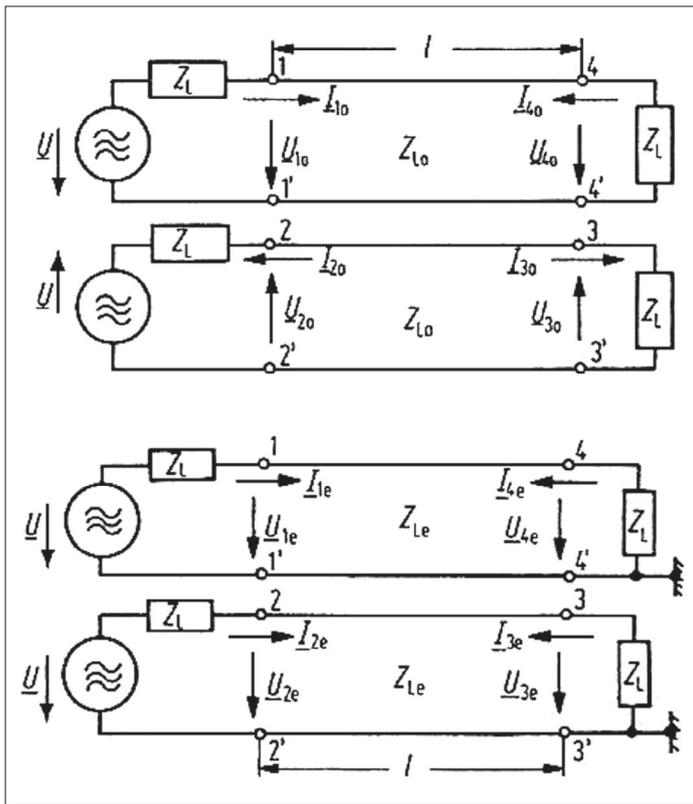


Bild 4: Darstellung der Modes in [4]

Anders ist es mit der induktiven Kopplung. Haupt- und Nebenarm kann man als Primär- und Sekundärseite eines Übertragers betrachten, wobei der Spannungsabfall längs der Primärinduktivität auf die Sekundärseite in Form von  $U_i$  induziert wird. Die Abschlusswiderstände an den Ausgängen 3 und 4 bilden mit dem Nebenarm gewissermaßen eine Brückenschaltung, in der sich die Sekundärspannung  $U_i$  je zur Hälfte auf die Ausgänge

3 und 4 aufteilt, mit der im Bild dargestellten Richtung. Man erkennt, dass bei 4 die beiden Spannungen  $U_o$  und  $U_i$  gegenphasig sind, bei 3 gleichphasig. Es ist leicht einzusehen, dass sich bei geeigneter Dimensionierung  $U_i$  und  $U_o$  an dem einen Ausgang (4) wegen der Gegenphasigkeit auslöschen, am anderen Ausgang (3) unterstützen.

Dieser Erklärungsversuch unterscheidet sich nicht grundsätzlich von den anderen; er verzichtet nur auf den durch induktive Kopplung entstehenden Strom und zieht auch hier die entstehende Spannung heran, was die Darstellung etwas vereinfacht. Die reflektierte Welle bleibt ebenfalls unerwähnt.

### Die rücklaufende Welle

In [1, 2, 3] gibt es keinen Hinweis auf den grundsätzlichen Unterschied zwischen hin- und rücklaufender Welle, der eine eigene Betrachtung für diese nahelegt: Bei jeder Reflexion kommt es zu einem sogenannten Phasensprung. Dies bedeutet: Es ändert sich für den reflektierten Anteil die Phasenlage zwischen Strom und Spannung gegenüber der ankommenden Welle um  $180^\circ$ . (Dabei bestimmt

der Wert des Lastwiderstands im Vergleich zum Kabel-Wellenwiderstand, ob der Phasensprung beim Strom oder bei der Spannung erfolgt. Dies ist hier weniger wichtig.) Eine an der Last reflektierte Welle weist also grundsätzlich mehr als  $180^\circ$  Phasenversatz zwischen Strom und Spannung auf als die ankommende Welle.

Ursächlich für ein E-Feld und somit für eine kapazitive Kopplung ist eine Spannung. Ursächlich für ein H-Feld und somit für eine magnetische Kopplung ist ein Strom. Es scheint daher richtig zu sein, die kapazitiv ausgekoppelte Größe mit der Phasenlage der Spannung auf der Main Line zu verbinden und die induktiv ausgekoppelte Größe mit der Phasenlage des Stroms auf der Main Line. Auch die von der rücklaufenden Welle ausgekoppelten Größen  $U$  und  $I$  hätten somit eine gegenüber den von der hinlaufenden Welle ausgekoppelten Größen  $U$  und  $I$  eine inverse Phasenlage.

Es muss nun nicht besonders erörtert werden, dass dann der Richtkoppler bezüglich der rückeilenden Welle nicht so funktioniert wie er es in der Praxis tatsächlich tut. Denn wie sich leicht zeigen lässt, würde auch die rücklaufende Welle am linken Widerstand in Bild 2 bzw. am linken Koppelausgang in Bild 3 eine Spannung aufbauen, genau wie die hineinle Welle, während es rechts zur gegenseitigen Auslöschung der ausgekoppelten Welle kommen würde, genau wie bei der hineinle Welle.

Suspekt erscheint mir auch die Notwendigkeit der Betragsgleichheit der über die beiden Koppelpfade entstehenden Ströme/Spannungen, da dies zu realisieren wohl eine gewisse konstruktive Herausforderung wäre. Die Praxis zeigt jedoch, dass ein Leitungsrichtkoppler recht unkritisch aufgebaut werden kann (Aufmacherfoto) und trotzdem gut funktioniert.

Diese Erklärungen liefern keine weiteren Informationen zum Richtkopplerverhalten.

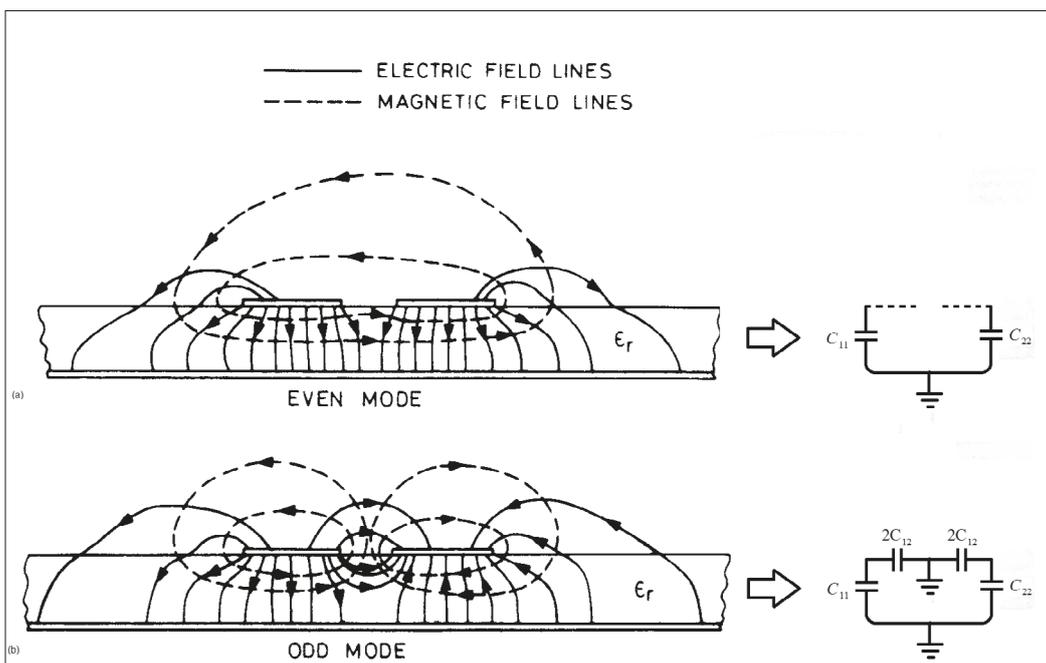
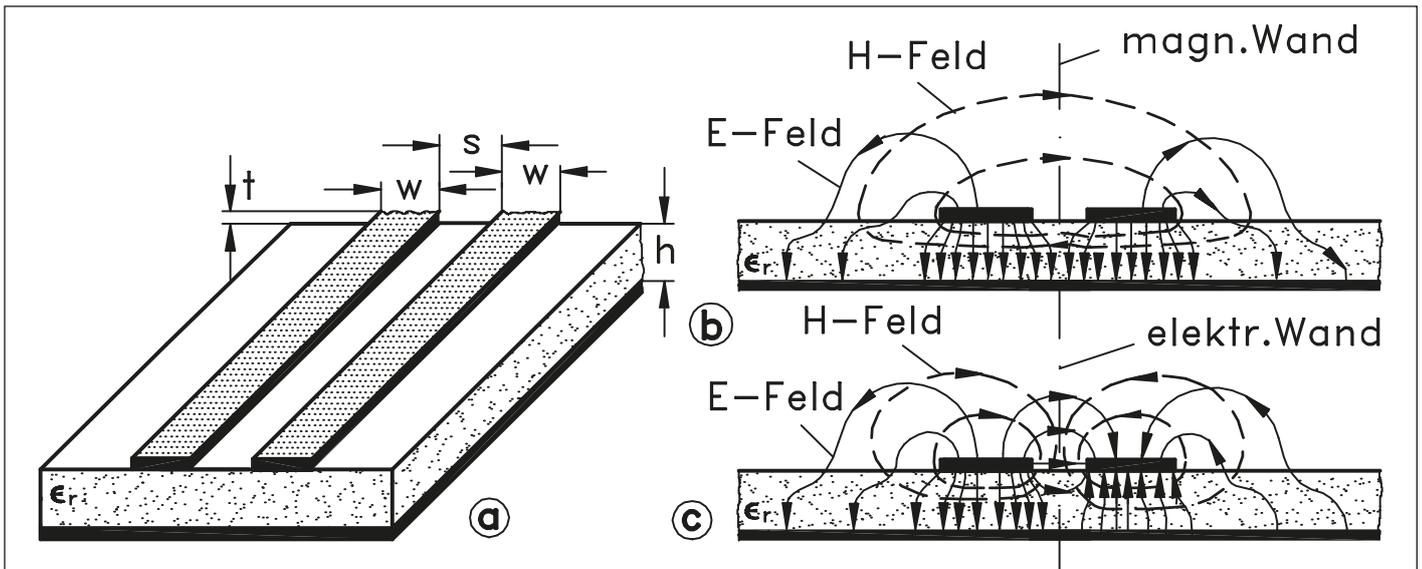


Bild 5: Die magnetische Kopplung im Gleichtaktmodus (Even Mode) wird im Ersatzschaltbild ignoriert [7]



**Bild 6: Aufbau (a) und Feldkonfiguration von Gleich- (b) und Gegentaktwelle (c) der verkoppelten Mikrostreifenleitung [8, 9]. Trotz Kopplung werden „Wände“ erklärt**

### Erklärungsversuche über Modes

Eine andere Darstellung der Funktionsweise geht von der Möglichkeit aus, gekoppelte Leitungen im Gleichtakt oder im Gegentakt zu speisen (Bild 4). Hier stört sofort die zweite Spannungsquelle an der Nebenleitung, die es ja praktisch überhaupt nicht gibt. Dennoch wird diese Herangehensweise an vielen Stellen gepflegt, z.B. [4 bis 9], wobei eine mehr oder weniger unkritische Übernahme vermutet werden darf. Den folgenden Worten kann der Autor nicht folgen: „Bei Anwendung dieser Betrachtungsweise wird der Rechenaufwand für die Erklärung der Vorgänge bei elektromagnetisch miteinander verkoppelten Leitungen verblüffend einfach. Außerdem ist das Verfahren sehr anschaulich...“ [4] Denn aufbauend auf zuvor abgeleiteten Beziehungen werden auch hier immerhin zehn Seiten benötigt. Obwohl auch eine magnetische Kopplung vorliegt, trifft man zur Darstellung der Kopplung immer nur Koppelkondensatoren an (Bild 5). In [9] wird bei einem übergreifenden Magnetfeld eine „magnetische Wand“ und bei einem übergreifenden elektrischen Feld eine „elektrische Wand“ postuliert (Bild 6), übernommen aus [10].

Es ist vielleicht nicht allzu verwunderlich, dass u.a. die Betrachtungen in [11, 12] eine gegenüber der tatsächlichen Lage vertauschte Lage der Auskoppelports für vor- und rücklaufende Messgröße behaupten.

In allen Fällen wird nur für hinlaufende Leistung erklärt, nicht auch für rücklaufende (negative).

Diese Erklärungen liefern außer der Abhängigkeit des Koppelfaktors von der Frequenz bzw. elektrischen Länge der Nebenleitung keine weiteren Informationen zum Richtkopplerverhalten.

### Erklärung auf Grundlage der Kopplung

Die 107 Seiten umfassende Arbeit [13] verzichtet sowohl auf eine Erklärung über magnetisch und elektrisch ausgekoppelte Größen, die sich definiert überlagern, als auch auf verschiedene Modes. Der Richtkoppler wird als das betrachtet, was er ist: ein Vierport aus zwei gekoppelten Leitungen. Die Vorgehensweise bei der Funktionsbeschreibung ist im Wesentlichen folgende: Ausgehend von der Lösung der aus den Maxwell'schen Gleichungen gefundenen Differentialgleichungen für elektrische und induktive Kopplung für das Leitersystem über die Berechnung der Ladungen und Flüsse

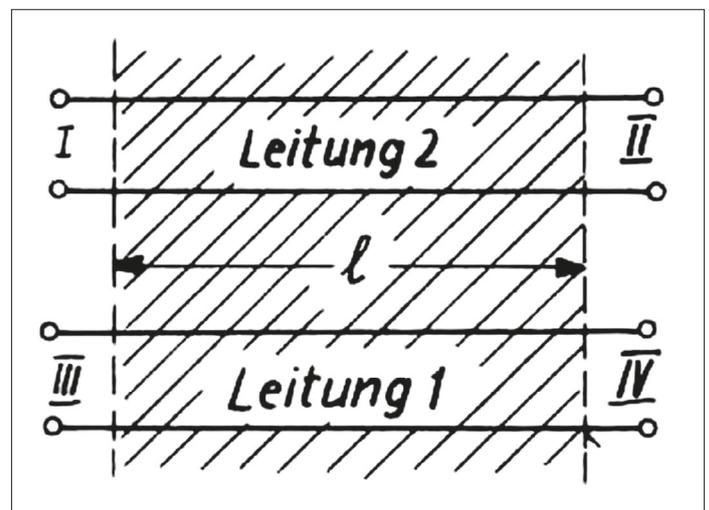
wird die Streumatrix des Vierports abgeleitet. Die Streumatrix-Gleichung gibt bekanntlich durch ihre (hier 4 x 4) Elemente an, wie sich die von irgendeinem Klemmenpaar ablaufende Spannungswelle aus den zulaufenden Wellen aller (hier vier) Klemmenpaare zusammensetzt. Betrachtet wird der beim Richtkoppler vorliegende einfachste Fall einer Speisung an einem Klemmenpaar.

Daraus lassen sich dessen Eigenschaften relativ übersichtlich berechnen, wobei das Richtverhalten auch quantitativ zum Ausdruck kommt. Für den beim Richtkoppler vorliegenden Fall

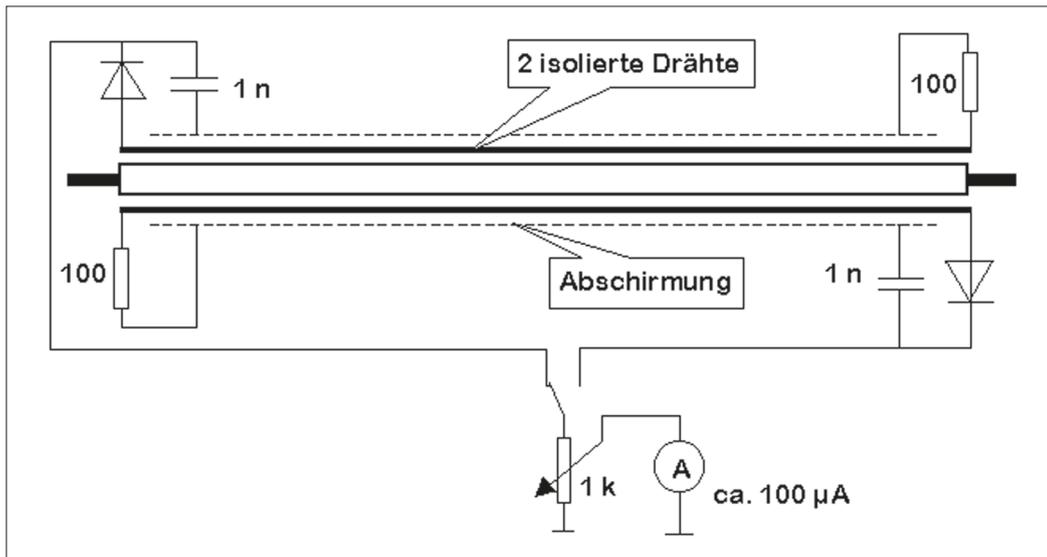
der losen Kopplung ergeben sich einfache Näherungsformeln. Eine Möglichkeit der Fehlerabschätzung besteht dabei.

Zu den näheren Informationen, die sich ableiten lassen, gehören:

1. Die Klemmenpaare I und IV (Bild 7) sind auch entkoppelt, wenn die Klemmenpaare II und III nicht reflexionsfrei abgeschlossen sind, die betreffenden Abschlusswiderstände jedoch in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen.
2. Die Festlegung auf einen gemeinsamen Rückleiter bedeutet keine Einschränkung der Allgemeingültigkeit.



**Bild 7: Gekoppelte Doppelleitungen [13]**



**Bild 8: Stehwellenmessgerät mit zwei Messleitungen, die an der Messstelle nicht belastet werden [14]**

3. Die Spannung jedes Leiters ist eine lineare Funktion der bezogenen Ladungen beider Leiter.

4. Die Konstanten des Leittersystems lassen sich durch die Elemente der Matrixen, welche eindeutig zusammenhängen, vollständig bestimmen.

5. Es gilt: kapazitiver Koppelfaktor  $\times$  Wellenwiderstand Leitung 1 = magnetischer Koppelfaktor  $\times$  Wellenwiderstand Leitung 2

6. Die Streumatrix ist nicht durch das Viertorsystem allein bestimmt, sondern hängt auch von den Abschlüssen ab.

7. Der Betrag des Richtverhältnisses ist für lose Kopplung gleich dem Betrag des Reflexionskoeffizienten.

8. Das Verhältnis der Spannungen an Port IV und III ist proportional zum Reflexionskoeffizienten.

Es wird weiter gezeigt, dass an der Messstelle ein beliebiger Widerstand zulässig ist. Mit einer derartigen Anordnung kann man natürlich nur eine Welle in der Hauptleitung messen und nicht beide, sodass zwei Nebenleitungen erforderlich sind. Dennoch erscheint ein Aufbau mit offenem Messabschluss (Bild 8) interessant, da in diese Nebenleitung keine Energie von der beobachteten Welle geht (Span-

nung am abgeschlossenen Port ist ja null).

Zum Vergleich der Theorie mit der Praxis wurden die beiden theoretisch behandelten Fälle praktisch ausgeführt. Nach der Ermittlung der für die Rechnung notwendigen Konstanten eines gegebenen Leitersystems wird auf die verschiedenen Bauformen von Richtkopplern eingegangen. U.a. werden die Messergebnisse an/mit einem praktisch ausgeführten Breitband-Reflektometer diskutiert und mit den theoretischen Werten verglichen, wobei sich eine gute Übereinstimmung ergibt.

Eine Erwähnung der negativen Leistung der reflektierten Welle erfolgt leider nicht und daher auch keine Darstellung der Funktion bei Entstehung eben dieser. Ein wenig problematisch erscheint auch Bild 9, das den Ersatz eines „passiven“ Widerstands durch eine „gesteuerte“

Spannungsquelle skizziert. Ein Widerstand, an dem eine Reflexion erfolgt (links) wird also durch einen Widerstand, an dem keine Reflexion erfolgt und eine Spannungsquelle ersetzt, welche die links durch Reflexion entstehende Spannung liefert. Eine Spannungsquelle ist jedoch nicht in der Lage, negative Leistung zu liefern, diese kann man nur durch Reflexion erzeugen.

FS

## Quellen:

[1] Ingenieurbüro Hutter Hochfrequenztechnik, IHH, [www.richtkoppler.de](http://www.richtkoppler.de)

[2] Richtkoppler: <http://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1183202>

[3] Der Richtkoppler, Funktion und Anwendung: [www.robkalmeyer.nl/techniek/electronica/radiotechniek/hambladen/ukw-berichte/1985/page050/index.html](http://www.robkalmeyer.nl/techniek/electronica/radiotechniek/hambladen/ukw-berichte/1985/page050/index.html)

[4] Hans Peschl: HF-Leitung als Übertragungsglied und Bauteil, Hüthig & Pflaum 1979

[5] Leo Young: Parallel Coupled Lines and Directional Couplers, Artech House 1972 und 1982

[6] <http://kilyos.ee.bilkent.edu.tr/~microwave/programs/magnetic/dcoupler/theory.htm>

[7] Carlos Sánchez Sierra: Microwave directional couplers, EPSC 2010, 67 Seiten (Internet)

[8] 7.6 – Coupled-Line Directional Couplers, 2009, 8 Seiten (Internet)

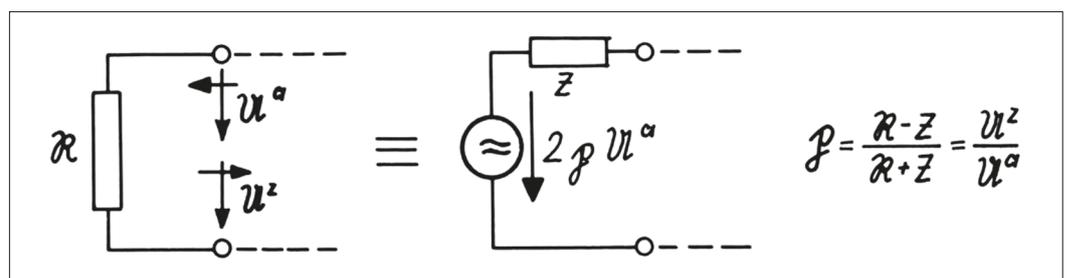
[9] Praktikum Hochfrequenztechnik, Teil 1, Richtkoppler, SoSe 2017, 10 Seiten (Internet)

[10] G. Böck: Arbeitsblätter zur Vorlesung Höchsthochfrequenztechnik I + II

[11] Microwave Engineering Directional Couplers: [www.tutorialspoint.com/microwave\\_engineering/microwave\\_engineering\\_directional\\_couplers.htm](http://www.tutorialspoint.com/microwave_engineering/microwave_engineering_directional_couplers.htm) [12] ITCC: [www.itcc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/The%20Directional%20Coupler.pdf](http://www.itcc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/The%20Directional%20Coupler.pdf) (falsch)

[13] Hellmuth Wolf: Gekoppelte Hochfrequenzleitungen als Richtkoppler, Forschungsbericht Institut für Hochfrequenztechnik der Technischen Hochschule Aachen, Herausgegeben von Staatssekretär Prof. Dr. h. c. Dr. E. h. Leo Brandt, Nr.440, Westdeutscher Verlag 1958/später Springer Fachmedien

[14] Eckart K. W. Moltrecht: Wir bauen ein Stehwellenmessgerät, [www.dj4uf.de/projekt/swr/swr.html](http://www.dj4uf.de/projekt/swr/swr.html)



**Bild 9: Ersatz eines „passiven“ Widerstands durch eine „gesteuerte“ Spannungsquelle [13]**

# Einfacher Einsatz von Mobilfunk für IoT



Das neue Funkmodul nRF9160 SiP von Nordic Semiconductor macht Entwicklern die neuste LTE-Schmalbandtechnologie für eine Vielzahl von Anwendungen zugänglich. Durch die hohe Integration und Vorzertifizierung für den globalen Betrieb löst es Design-Herausforderungen und erfüllt sämtliche Qualifika-

tionen, die für die Nutzung der Mobilfunktechnologie erforderlich sind.

Durch die Integration von Applikations-MCU, LTE-Modem, RF-Frontend und Power Managements in einem 10 x 16 x 1 mm messenden Gehäuse bietet das nRF9160 System-in-Package (SiP) die kompakteste Lösung für mobiles IoT auf dem Markt. Für Anwendungen zum Asset-Tracking gibt es das SiP in einer Version mit integrierter GPS-Unterstützung. Es kombiniert Standortdaten aus dem Mobilfunknetz mit GPS-Satelliten-Trilateration, und ermöglicht so eine genaue Positionsbe-

stimmung. Entwickler finden unter [www.nordicsemi.com](http://www.nordicsemi.com) unterstützte Länder und Netzwerke. Das global kompatible LTE-Modem unterstützt die folgenden Bänder: US: B2, B4, B5, B12, B13; EU/APAC: B3, B8, B20, B28.

Zusätzlich verfügt das nRF9160 SiP über eine integrierte Arm-Cortex-M33-CPU, die Sicherheitstechnologie Arm TrustZone und Arm CryptoCell. Es bietet eine breite Auswahl an digitalen und analogen Schnittstellen und Peripheriegeräten für das Design verschiedenartiger Geräte. Für ein vollständiges IoT-Design stellt Nordic die notwendige Modem-Firmware, RTOS und Anwendungs-Software bereit.

entsprechendes Development Kit auf den Markt gebracht. Es ermöglicht den Zugriff auf alle I/Os und Schnittstellen über Steckverbinder und einen 4FF-SIM-Karten-Steckplatz. Für einen direkten Entwicklungsstart liegt eine SIM-Karte mit 10 MB Guthaben bei. Für größere Volumina bietet Rutronik auch spezielle M2M-SIM-Verträge an. Das Board integriert auch einen nRF52840 SoC für Bluetooth 5, ANT, 802.15.4 und 2.4 GHz proprietäre Anwendungen. Für die 802.15.4-Schnittstelle stehen ZigBee und Thread Stacks kostenlos zur Verfügung. Darüber hinaus verfügt das Kit über vier LEDs, zwei Tasten und zwei Schalter, die frei programmierbar sind.

Für Konfiguration und Prototyping hat Nordic für das SiP ein

■ *Rutronik*  
[www.rutronik.com](http://www.rutronik.com)

## NB-IoT-Multimode-Module



Quectel, der langjährige Partner von tekmodul, hat zur CES 2019 in Las Vegas neue M2M-Module für NB-IoT-Anwendungen vorgestellt. Die Lowpower/Widearea-Network-Module BG95 und BG77 basieren auf dem neuen Qualcomm-Chipsatz 9205.

Das BG95 hat den gleichen Footprint wie das wohl aktuell erfolgreichste Multimode-NB-IoT-Modul BG96 von Quectel. Wie das BG96 bietet auch das BG95 Cat. NB1/2 (Rel 14), M1 und 2G sowie integriertes GNSS. Somit kann eine aktuell auf dem BG96 basierende Anwendung auf das BG95 übertragen werden. Auch softwareseitig wird ein problemloser Übergang möglich sein. Das BG95 unterstützt

ThreadX, bietet aufreichend Flash und RAM.

Das BG95 setzt auf einen internen ARM-Cortex-A7-Prozessor, der auch direkt für Applikationen genutzt werden kann. Somit kann für viele Applikationen der Anwendungs-µC eingespart werden. Somit lässt sich die Schaltung ganz erheblich verkleinern und kostenoptimieren. Zudem kann sowohl im PSM- als auch im eDRX-Mode der Stromverbrauch verringert werden.

Des weiteren bietet das BG95 einige in Hardware realisierte Sicherheitsfeatures, unter anderem secure boot, debug und file system. Mit dem neuen secure key provisioning ist es nun möglich, sicherheitsrelevante Applikationen direkt auf dem Cortex in einer Trust-Zone Engine auszuführen.

Mit dem BG77 bietet Quectel eine ultrakompakte Version des BG95 in einem 14 x 15 mm großen Gehäuse mit gleichen Features. Aufgrund der geringen Größe ermöglicht das BG77 Anwendungen in wesentlich kleineren Formfaktoren.

■ *tekmodul GmbH*  
[www.tekmodul.de](http://www.tekmodul.de)



**e-MECA.com**

**MECA Electronics, Inc.**  
Microwave Equipment & Components of America



**Bessere Kommunikationslösungen  
Millimeterwellen & 5G**

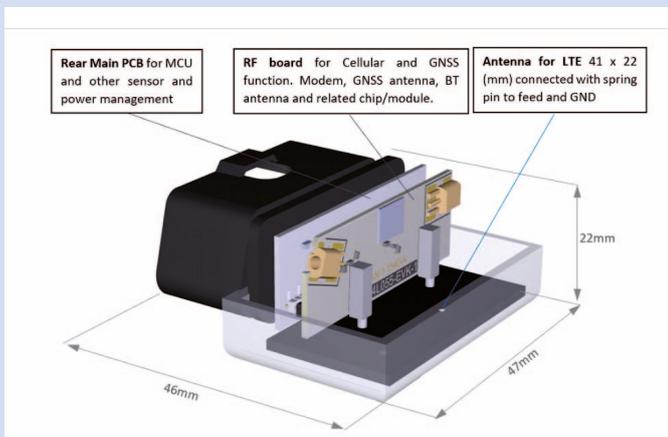
**Leistungsteiler, Adapter, Isolatoren, Bias Tees, DC-Blocks,  
Dämpfungsglieder/Lasten + Koppler (SMA, 2.4 + 2.92mm)**



**MECA Electronics, Inc.**  
Microwave Equipment & Components of America  
The Professional's Choice for  
RF/Microwave Passive Components  
459 E. Main St., Denville, NJ 07834  
Tel: 973-625-0661 | Fax: 973-625-9277 | Sales@e-MECA.com



## Stabantenne für LTE Cat M1



Antenova wählte die Messe CES 2019 dazu, eine neue Stabantenne und deren jüngstes

Referenzdesign für ein kleines, aber leistungsfähiges, auf der Platte enthaltenes Gerät

(OBDII) vorzustellen. Antenova entwickelte die Stabantenne für LTE Cat M1. LTE Cat M1 ist eine IoT-freundliche LTE-Version, die ausreichend Bandbreite für die Datenkommunikation bereitstellt, aber eine lange Batteriedauer gewährleistet. Die Plattenantenne SR4G055 misst 41 x 22 x 0,9 mm und wird auf den 4G/LTE-Frequenzen 698...894 und 1710...2155 MHz betrieben.

Im Design wurden alle Anforderungen für moderne Telematik berücksichtigt, das Gerät aber so konzipiert, dass Kunden ihre eigenen Schaltkreise

mit Zuversicht für den Erhalt der LTE-Cat-M1-Zertifizierung entwickeln können. Antenova bietet außerdem Bluetooth- und GNSS-Antennen, die hinzugefügt werden können und sich auf derselben Platte integrieren lassen.

Neben OBDII eignet sich dieses Design auch für beliebige mobile LTE-CatM1-Anwendungen – zum Beispiel Tracker, tragbare Geräte, Drohnen, Netzgeräte, Smart-Zähler, Armaturenbrett-Ausrüstungen und Telematik.

■ *Antenova, Ltd.*  
[www.antenova.com](http://www.antenova.com)

## ISM-868/915-Antenne funktioniert auf Metall



Die meisten intelligenten Gebäude und Smart-City-Anwendungen benötigen Antennen für Steuerzwecke. Antennen werden in Schaltern und Helligkeitsreglern in kommerziellen und Wohngebäuden eingesetzt, als auch in Straßenbeleuchtung, Verkehrssteuerung und Sicherheit. Es wird erwartet, dass der Markt sich stetig erweitert.

Antenova hat darum eine neue Version seiner preisgekrönten „Reflector“-Antenne entwickelt, die auf und in unmittelbarer Nähe von Metalloberflächen funktioniert. Die neue Antenne, die nur 1,6 mm dick ist, wird Magna genannt und funktioniert auf den ISM-868/915-Bändern. Sie ist für industrielle IoT-Märkte, insbesondere Beleuchtungszwecke, gedacht.

Die neuen patentierten „Reflector“-Antennen sind dünner als andere Antennen, die normalerweise auf Metalloberflächen befestigt würden. Sie nutzen zwei elektrische Schichten, die voneinander isoliert sind, sodass eine Antenne auf einer Metalloberfläche bzw. einem Metallgehäuse ausstrah-

len kann, wo der Betrieb einer Antenne normalerweise sehr problematisch ist. Die erste „Reflector“-Antenne des Unternehmens für Smart Cities gewann auf der Embedded World 2018 die Auszeichnung Embedded Hardware Award. Dies ist die Robusta für die 1559...1609-MHz-Bänder.

Die neue Magna-Antenne wird mit einem Kabel und einem IPEX-Stecker geliefert und besitzt eine klebende Unterseite zur Befestigung innerhalb eines Geräts. Sie hat den Vorteil, dass sie über größere Entfernungen hinweg funktioniert, als normalerweise auf 868/915 MHz möglich, sodass sie im Freien oder in großen Lagerhallen eingesetzt werden kann; sie funktioniert auch auf Metall-Leuchtkörpern und an Deckenbefestigungen. Sie eignet sich perfekt für besonders kleine Lichtschalter und Energiespar-Anwendungen.

■ *Antenova, Ltd.*  
[www.antenova.com](http://www.antenova.com)

## Flexible WiFi-Antennenserie für Kompaktgeräte

Molex präsentierte seine flexible WiFi-Antennenserie, die für eine schnelle und unkomplizierte Integration in drahtlose Geräte bei minimalen Implementierungskosten konzipiert ist. Die flexiblen Antennen mit seitlich geführtem Kabel aus der Serie 206994 übertragen eine Hochleistungsübertragung von HF-Signalen bei anspruchsvollen und insbesondere auch platzkritischen WiFi-Anwendungen.

„Die bei heutigen, miniaturisierten Geräten gegebenen Designbeschränkungen

sind eine enorme Herausforderung, bei der es aber nicht nur um den Platzbedarf auf der Leiterplatte und die Gehäusegröße geht“, meint Bob Wang, Produktmanager bei Molex Shanghai. „Heutzutage kann ein Smartphone oder Tablet-Rechner durchaus mehrere Funkmodule umfassen. Dabei kommen komplexe Technologien wie Frequenzsprungverfahren, Frequenzspreizung oder OFDM-Modulation zum Einsatz. Gleichzeitig nimmt der Verkehr auf den lizenzfreien 2,4- und 5-GHz-Bändern immer mehr zu. Der Bedarf an durchdachten und präzisionsgefertigten Antennen war nie größer.“

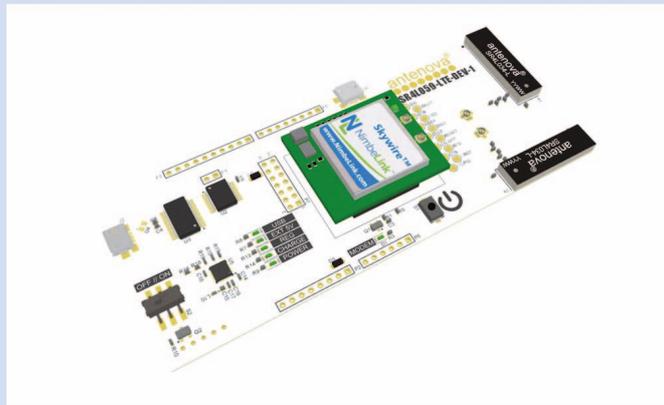


Wenn Antennen mit mittig geführtem Kabel für die Anforderungen einer gegebenen Anwendung nicht geeignet sind, werden Antennen mit seitlich geführtem Kabel benötigt. Um diese Anforderungen des Markts zu befriedigen, hat Molex zwei Antennenversionen mit seitlich geführtem Kabel entwickelt: die flexiblen Antennen mit seitlich geführtem Kabel Serie 206994 (Monopol) und Serie 204281 (Dipol). Die Monopolantennen aus der Serie 206994 eignen sich

## Diversitäts-Bausatz unter Verwendung des Cat4-LTE-Standards

Antenova wird einen Entwicklungs-Bausatz für ein zertifiziertes Cat4/LTE-Design auf der CES 2019 vorstellen. LTE Kategorie 4 (Cat 4) ist der nächste Schritt für die 4G-LTE-Geräteleistung. Ein Cat4-Gerät nutzt zwei Antennen – eine Hauptantenne für Sendung und Empfang und eine zweite Antenne nur zum Empfang. Die Strahlungsmuster der beiden Antennen weisen in eine unterschiedliche Richtung, sodass sie jederzeit in beliebiger Ausrichtung ein gutes Signal bieten, wenn das Gerät bewegt oder gedreht wird.

Der Bausatz bietet Designern ein Schnellverfahren für das erfolgreiche Design und die Zertifizierung für Cat4, was sonst nur schwer machbar ist. Verwendet werden



zwei Antenova-Inversa-LTE-Antennen, die die Funktelefonfrequenzen 698...798, 824...960, 1710...2170, 2300...2400 und 2500...2690 MHz abdecken. Antenova wird den kompletten Bausatz mit Grafiken, Schaltkreis und Referenzdesign liefern. Er kann

als Entwicklungsbausatz eingesetzt oder zum Prüfen eines anderen Designs in einen Rechner eingesteckt werden.

Um die Zertifizierung zu erhalten ist eine komplette Prüfung erforderlich, weshalb der Antenova-Bausatz batteriebetrieben

ist, damit das Gerät in einer Absorberkammer geprüft werden kann. Chris Tomlin, Direktor für Antennenanwendungen bei Antenova, kommentiert: „RF weicht von einem elektronischen Design deutlich ab und wird allgemein weniger verstanden. Bei Antenova bemühen wir uns sehr um die Herstellung von Antennen und Lösungen, die unseren Kunden bei der einfacheren Integration der Antennen helfen. Dieser Bausatz verleiht unseren Kunden die Seelenruhe im Wissen, dass die Antenne und ihr Schaltkreis auf der Platte bereits funktionieren, damit ihr Cat4 LTE Design die Zertifizierung erlangen kann.“

■ Antenova, Ltd.  
[www.antenova.com](http://www.antenova.com)

besonders für kleinformige Geräte, während die Dipolantennen aus der Serie 204281 Anwendungen unterstützen, bei denen symmetrische Übertragung und Unabhängigkeit von der Grundfläche bei allen Kabellängen benötigt wird. Die hochkompakte flexible WiFi-Antenne Serie 206994, die mit einer

Größe von nur 15 x 6 mm für die heutigen platzkritischen Anwendungen hervorragend geeignet ist, überzeugt nicht nur durch ihr kompaktes Format, sondern bietet mit einer Strahlungsleistung >70 % und einer Rückflussdämpfung >10 dB hervorragende HF-Eigenschaften. Damit ist diese Antenne

optimal für Anwendungen mit begrenztem Platzangebot, bei denen ein Antennengewinn von mindestens 3,6 dBi benötigt wird.

■ Molex  
[www.molex.com](http://www.molex.com)

## SMD-Antenne kann Ort mit Zentimetergenauigkeit bestimmen

Antenova hat eine neue SMD-Positionierungsantenne entwickelt, die eine unübertroffene Genauigkeit in den GNSS-Bändern erreicht – sie kann einen Ort mit Zentimetergenauigkeit bestimmen. Die Raptor-Antenne nutzt die L2-1200-MHz-Satellitenbänder, die vor kurzem zur zivilen Nutzung zur Verfügung gestellt wurden. Dabei handelt es sich um die jüngste Ergänzung des Sortiments an starren FR4-Antennen, die zur einfachen Integration auf einer Leiterplatte gedacht sind.

Die Antenne selbst ist sehr klein – es handelt sich um eine Einkanal-GPS-Antenne im SMD-Format mit Maßen von



nur 16 x 8 x 1,6 mm, wodurch sie sich für kleine Leiterplatten innerhalb aller Arten kleiner Elektronikgeräte eignet. „Dies ist eine hervorragende Antenne, denn sie erreicht dieselbe Genauigkeit wie viel größere, schwerere Keramik-Patch-Antennen, aber in einem äußerst kompakten SMD-Teil“,

sagt Colin Newman, CEO von Antenova. „Eine Keramikantenne würde 35 x 35 mm benötigen, um ein vergleichbares Niveau an Genauigkeit und Leistung zu bieten.“ Raptor wird der Einfachheit halber bei Massenproduktionsanwendungen auf Band und Rolle geliefert.

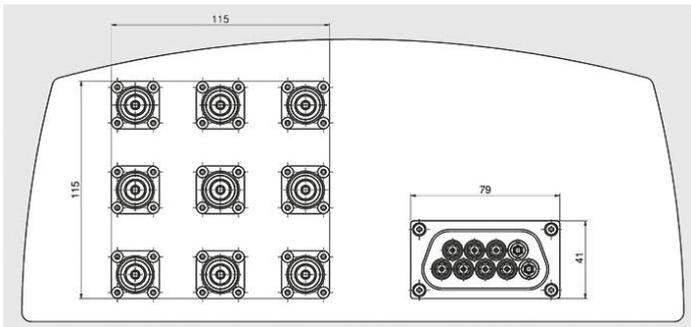
Durch Hinzufügen des L2-Frequenzbands wird der Empfang des Multiband-Satellitensignals durch GNSS-Korrekturdaten ergänzt. Dadurch werden Positionsfehler berichtigt, wodurch die Genauigkeit, insbesondere in städtischen Gebieten, deutlich erhöht wird. Neben verbessertem Tracking ist das L2-Band für unbemannte Flugkörper, Drohnen, autonome Fahrzeuge, Landwirtschaft, Rasterkartierung und zahlreiche vergleichbare, sich entwickelnde Anwendungen von Nutzen.

■ Antenova, Ltd.  
[www.antenova.com](http://www.antenova.com)

## Cluster-Connector wächst mit Anforderungen



**Diese Prototypen haben 9, 11 und 13 Ports: Zwei davon sind Fiber-Schnittstellen, die anderen 2.2-5 Koaxial-Schnittstellen**



**Gegenüber herkömmlichen 4.3-10 Steckverbindern (links) spart der Spinner Cluster Connector (rechts) sogar 75% Platz**

Der Mobilfunk bringt neue Sensortechnologien hervor, während Antennen und Basisstationen kleiner werden. Damit steigen die Anforderungen an Steckverbinder. Diesen Erfordernissen begegnet man bei Spinner mit einer Idee: einem Cluster, das alle Verbindungen bereitstellt – von Koaxial über DC bis hin zu AISG und Glasfaser.

Das Konzept löst zentrale Herausforderungen: Der Spinner Cluster Connector wächst mit

dem Bedarf an neuen Technologien, und gleichzeitig lassen sich in einem Cluster die Buchsen enger packen. Dabei ist der Stecker sicherer und schneller zu montieren. Von diesen Vorteilen ist man bei Spinner so überzeugt, dass man den „Spinner Cluster Connector“ im Oktober 2018 bei der NGMN zur Empfehlung als zukünftigen Industriestandard eingereicht hat.

Denn: Autonomes Fahren, das Internet der Dinge, Virtual Reality

– all diese Technologien stehen in den Startlöchern. Damit steigen die Anforderungen an Mobilfunknetze, die diese Möglichkeiten künftig unterstützen müssen. In Folge dessen gibt es bereits heute zahlreiche Übertragungstechnologien und neue werden daraus hervorgehen. Diese Entwicklung spiegelt sich im Mobilfunk-Equipment wider: Schon heute führen verschiedenste Verbindungen aus einer Basisstation heraus oder in eine Mobilfunkantenne hinein: Koaxialkabel, DC, AISG, Glasfaser usw.

Um diese Vielfalt handhabbar zu machen, hat Spinner ein Konzept entwickelt, das die Steckverbinder in ein Array verlagert: Der Spinner Cluster Connector funktioniert wie ein Container und nimmt alle Arten von Steckern auf. Damit bringt er völlig unterschiedliche Systeme an eine Antenne und kann mehrere Technologien vereinen. Derzeit sind für den Spinner Cluster Connector folgende Schnittstellen

vorgesehen: 2.2-5, 1.5-3.5, NEX10 als HF-Schnittstellen, DC, AISG sowie Fiber.

Künftig kann der Spinner Cluster Connector beliebig viele weitere Schnittstellen aufnehmen. Diese müssen nur eine geeignete Größe aufweisen und den mechanischen Anforderungen gewachsen sein. Für Hersteller von Antennen und Basisstationen sowie Netzbetreiber bedeutet das: Sie wählen die Anzahl von Verbindungen und deren Technologie individuell nach ihren Anforderungen. Das Charmante dabei: Im Cluster lassen sich verschiedenste Technologien einbinden.

Wie bei herkömmlichen Steckverbindern gibt es männliche und weibliche Steckverbinder sowie männliche und weibliche Cluster. Das weibliche Cluster wird am Gerät montiert und enthält die weiblichen Steckverbinder. Weibliche Steckverbinder sind fest mit dem Cluster-Steckverbinder verankert und werden bereits vom Gerätehersteller verbaut.

Dieses Cluster hilft auch bei der fortschreitenden Miniaturisierung. Herkömmliche Steckverbinder erfordern einigen Platz am Gehäuse, damit die Monteure einen Schlüssel bewegen und sie montieren können. Beim Spinner Cluster Connector lassen sich die Abstände zwischen den Steckverbindungen deutlich reduzieren, da er als Ganzes gesteckt wird.

Die männlichen Steckverbinder werden in das Cluster eingeschoben und rasten ein. Das männliche Jumper-Cluster wird auf das korrelierende Geräte-Cluster gesteckt. Für einen Installateur bedeutet das: die Cluster zusammenstecken, arretieren – fertig.

Auf diese Art ist ein Cluster-Connector mit beispielsweise neun Steckverbindern schnell montiert. Bei der herkömmlichen Montage müsste der Installateur neun Jumper einzeln montieren. Damit reduziert ein Cluster die



**Ist das männliche Cluster gesteckt, wird es mit Bügelsteckern am Gehäuse arretiert. Das schützt die im Inneren liegenden Steckverbinder vor Feuchtigkeit und Schmutz. Auch dieser Montageschritt geht schnell und sicher vonstatten**



**Das Gehäuse des Clusters ist asymmetrisch aufgebaut. Damit lässt es sich intuitiv stecken, was eine fehlerhafte Montage ausschließt**

Steckzeit gegenüber einzeln gesteckten und verschraubten Verbindungen um bis zu 90%. Unter dem Strich reduzieren sich die Installationskosten enorm.

Damit die Montage problemlos funktioniert, sind die männlichen Stecker schwimmend und drehbar im Cluster-Gehäuse gelagert. Damit gleichen sie Fertigungstoleranzen zwischen den männlichen und weiblichen Cluster-Steckverbindern aus. Zudem lassen sich die Jumper nachträglich ausrichten, will man zum Beispiel Winkelstecker anschließen.

Dieses Konzept wird derzeit von den Firmen Amphenol, Kathrein und Telegärtner unterstützt.

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

## Der 1,35-mm-E-Steckverbinder



Der nach Herstellermeinung beste hochpräzise koaxiale Steckverbinder für E-Band-Anwendungen erlaubt eine robuste Präzi-

sionsschnittstelle für DC bis 90 GHz und wird von Spinner gefertigt. Hintergrund der Entwicklung: Insbesondere bei E-Band-Anwendungen sind zuverlässige koaxiale Schnittstellen entscheidend für das Erreichen einer guten HF-Leistung. Ungewolltes Lösen des 1-mm-Koaxialgewindes bei ohnehin schon zeitaufwändigen Kalibrierungen ist ein häufiger Grund für Frustration in HF-Messlaboren. Daraus entstand die Idee eines 1,35-mm-Steckers – der „E-Connector“ – mit einem präzisen metrischen Gewinde wie bei einem 1,85-mm-Steckverbinder sowie zusätzlicher Kontur für Push-Pull-Steckverbinder.

Der neue E-Connector eignet sich hervorragend für HF-Messungen im E-Band und ist eine Alternative zum Selbstlösen neigenden 1-mm-Steckverbinder und den aufwendig zu installierenden WR10-Hohlleitern. Um die bisher klaffende Lücke zwischen dem 1,85- und dem 1-mm-Steckverbinder endlich zu schließen, entwarf Spinner den neuen 1,35-mm-E-Connector.

Der 1,35-mm-E-Steckverbinder ist für die üblicherweise verwendeten Frequenzen innerhalb des E-Bands optimiert, ermöglicht kostensparende Kabelstecker (Kabelinnenleiter = Stecker-Pin) und verhindert das unbeabsichtigte Öffnen der Überwurfmutter.

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

## Ultradünne und ultrastarke Litzen und Kabel mit PTFE-Isolation



Platzmangel in Geräten, aber auch ganze Baugruppen sowie verkabelte Komponenten erfordern mehradrige Kabel bzw. Zuleitungen mit kleinsten Außendurchmessern. Wenn die Zuleitungen durch kleinste Öffnungen oder verwinkelte Kanäle geführt werden müssen, werden

Kabel mit kleinen Durchmessern notwendig. Mit den bei Telemeter Electronic erhältlichen PTFE-isolierten Litzen und Kabeln wird, bei gleichem Leiterquerschnitt, eine deutliche Durchmesserverkleinerung im Vergleich zu anderweitig isolierten Leitungen erreicht. Trotz

kleiner Durchmesser bleiben die Kabel sehr robust und temperaturstabil und bieten optimale Eigenschaften gegenüber harschen Umgebungsbedingungen. So sind z.B. für die Verkabelung von Sondenfühlern sechsadriges Kabel mit Abschirmung lieferbar. Diese weisen einen Außendurchmesser von lediglich 2,2 mm auf. Telemeter Electronic passt diese Kabel auch jederzeit kundenspezifisch an.

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



Von der Idee bis zum Service,  
 HF-Technik aus einer Hand



Mobilfunk- & EMV-Messtechnik



Schalten & Verteilen von HF-Signalen



Mechanik Präzisionsfrästeile & Gehäuse



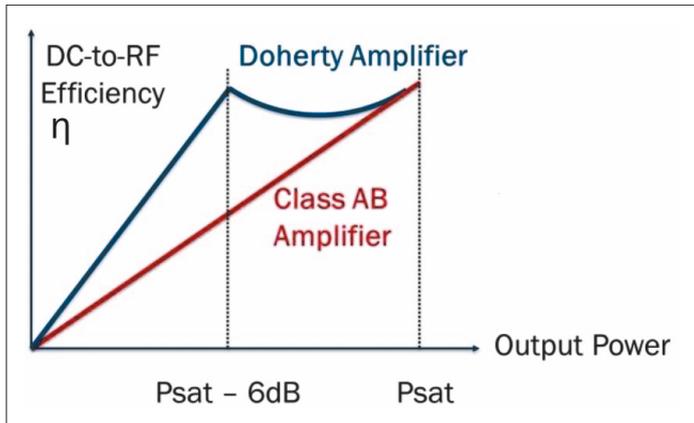
HF-Komponenten & Distribution von IMS Connector Systems

MTS Systemtechnik GmbH  
 D-86690 Meringen  
[www.mts-systemtechnik.de](http://www.mts-systemtechnik.de)



## Einführung in Theorie und Praxis

# Doherty-Verstärker für moderne Telekom-Anwendungen



**Bild 1: Träger- und Spitzenwertverstärker in einem Doherty-Verstärker sorgen für einen hohen Wirkungsgrad**

**Der Doherty-Verstärker, von W. H. Doherty im Jahr 1936 entwickelt und danach weitgehend ignoriert, hat sich heute zu einer Reserve-lösung in modernen Telekommunikations-anwendungen entwickelt, die eine hohe Ausgangsleistung und einen hohen Wirkungsgrad erfordern. Dieser Beitrag beschreibt die Theorie und ein grundlegendes Design für einen Doherty-Leistungsverstärker.**

Obwohl die Bandbreite von Doherty-Leistungsverstärkern etwas begrenzt ist, können sie bei verschiedenen Leistungsstufen viel höhere Wirkungsgrade erzielen als AB-Verstärker – und das bei einem hervorragenden Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung (PAPR, Peak-to-Average Power Ratio). Basierend auf einer Mehrfachverstärker-Architektur, ist ein Doherty-Leistungsverstärker in der Lage, bei niedrigem und hohem Leistungsniveau effizient zu arbeiten. Dies ist von besonderem Vorteil bei den komplexen und dynamischen Signalen, die mit modernen Modulationstechniken erzeugt werden.

### Grundaufbau

Ein dualer Doherty-Verstärker setzt sich aus einem Trägerverstärker zusammen, der als Verstärker der Klasse AB oder B vorgespannt ist, während der Spitzenwertverstärker als Klasse-C-Verstärker vorgespannt ist und nur während des halben Signalzyklus leitend ist. In abgestimmten Verstärkerkreisen entspricht der Spitzenwertverstärker einem Klasse-B-Verstärker. Die Verstärker im Doherty-Paar können ähnlich vorgespannt und unterschiedlich dimensioniert

sein oder eine anpassbare Vorspannung verwenden, um den Spitzenwertverstärker nach Bedarf einzuschalten.

Im Gegensatz zu einem einzelnen Klasse-AB-Verstärker kann ein Doherty-Verstärker so ausgelegt werden, dass er bei Standard-Leistungspegeln maximalen Wirkungsgrad erzielt, während er auch dafür ausgelegt ist, den Wirkungsgrad bei Back-off-Leistungspegeln zu erhöhen.

Bild 1 zeigt: Träger- und Spitzenwertverstärker in einem Doherty-Verstärker sorgen für hohen Wirkungsgrad sowohl bei niedriger als auch bei hoher Leistung und übertreffen damit die Gesamteffizienz von AB-Leistungsverstärkern

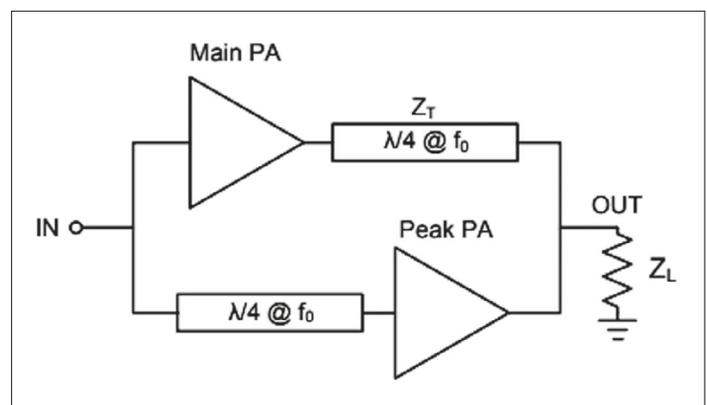
### Theorie des Doherty-Verstärkers

Ein Doherty-Verstärkerpaar arbeitet mit dem Eingangssignal, das einem Quadraturkopppler zugeführt wird, bevor es sich auf den Träger- und Spitzenwertverstärker aufteilt. Diese Funktion ermöglicht es dem Eingang, einen symmetrischen Verstärker zu emulieren und verringert die Reflexion, die auftritt, wenn der Verstärker am Eingang nicht

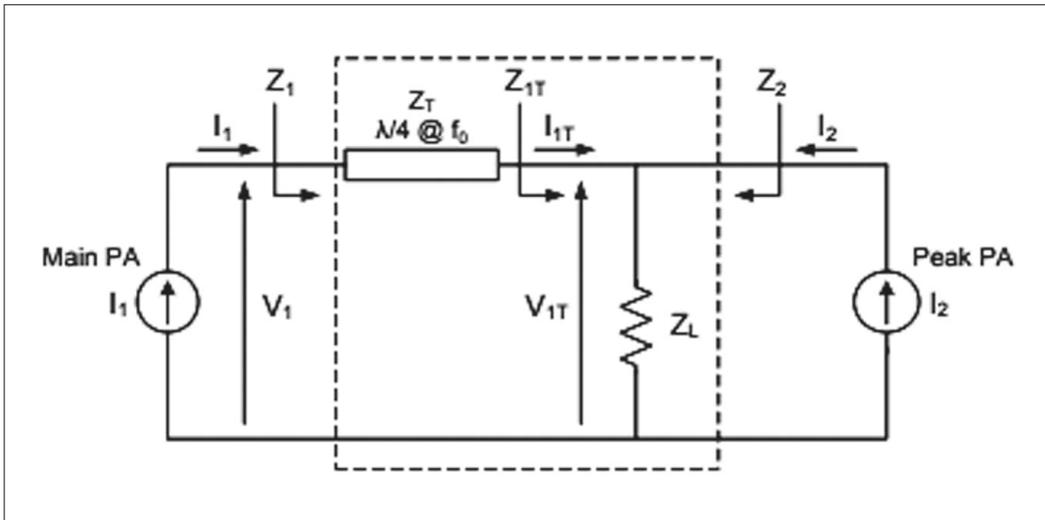
angepasst ist. Am Ausgang des Doherty-Paares wird einer der Verstärkerausgänge einer Viertelwellen-Stichleitung zugeführt, um seine Phase um  $90^\circ$  anzupassen, bevor er mit dem Ausgang des anderen Verstärkers kombiniert wird. Bei der Kombination der beiden Ausgangssignalfade im Summierungsknoten wird die Impedanz der kombinierten Ausgänge durch einen Viertelwellentransformator erhöht, um die gewünschte Ausgangsanpassung zu erzielen.

Da beide Verstärker an sich nichtlinear sind, kann das Design des Ausgangsimpedanz-Anpassungsnetzwerks sehr komplex sein, insbesondere wenn der Ausgang eines Verstärkers den Ausgang des anderen während des Betriebs einem Load-Pull unterzieht. Angesichts der nicht isolierten und nichtlinearen Ausgangssignale des Doherty-Paares ist eine hochentwickelte nichtlineare Analyse erforderlich, um das Design hinsichtlich Wirkungsgrad, Stromverbrauch und linearer Leistungsfähigkeit zu optimieren.

Es folgt eine theoretische Analyse eines linearen Doherty-Verstärkerpaares, das in Bild 2 und 3 dargestellt ist. Die Vorausset-



**Bild 2: Ein Doherty-Verstärker besteht aus einem Träger- und Spitzenwertverstärker, zusammen mit Leistungsaufteilungs-/kombinations- und Impedanz-Anpassungskreisen, die erforderlich sind, um die Amplitude und Phase des Eingangs- und Ausgangssignals auszugleichen**



**Bild 3:** Ein Doherty-Verstärker lässt sich bei der Mittenfrequenz als zwei unabhängige ideale Stromquellen modellieren, wobei eine Quelle die Last durch eine Verzögerungsleitung und einen Impedanz-Anpassungskreis steuert

zungen: Beide Verstärker befinden sich im Klasse-B-Betrieb ohne parasitäre Effekte, ihre Oberwellen sind kurzgeschlossen. Sie verwenden die gleiche Drain-Source-Vorspannung und zeigen 0 V Kniespannung. Beide Verstärker werden mit Ausgangsstromkoeffizienten modelliert, die vom Treiberpegel des Verstärkers abhängen. Die Werte des Ausgangsphasen-Balancers und der Last müssen für maximale Ausgangsleistung und Effizienz um die Mittenfrequenz herum optimiert werden. Daher sollte die Impedanz des

Phasen-Balancers so eingestellt werden, dass der maximale Wirkungsgrad mit dem Spitzenwertverstärker bei voller Ausgangsleistung erzielt wird. Die Ausgangsspannung des Trägerverstärkers kann für den maximalen Wirkungsgrad über den gesamten Hochleistungsbereich auf der Vorspannungsamplitude gehalten werden.

Die wichtigsten Spannungen, Ströme, Impedanzen, Leistungswerte und die Drain-Effizienz werden in diesem Beispiel mit den Gleichungen 1 bis 6 beschrieben (siehe Kasten näch-

ste Seite). Diese theoretische Analyse hilft, die Beziehung zwischen dem Ansteuerungspegel und dem Wirkungsgrad bei der Mittenfrequenz und über der Betriebsbandbreite zu verstehen. Sie erleichtert es auch, einen Startpunkt für die Phasenausgleichs- und Impedanz-Anpassungskreise eines Doherty-Verstärkerpaares zu bestimmen. Im endgültigen Design eines Doherty-Paares muss jedoch das nichtlineare Verhalten des Verstärkers und die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Anpassungskomponenten

und Verstärkern berücksichtigt werden. Dieses Verfahren wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

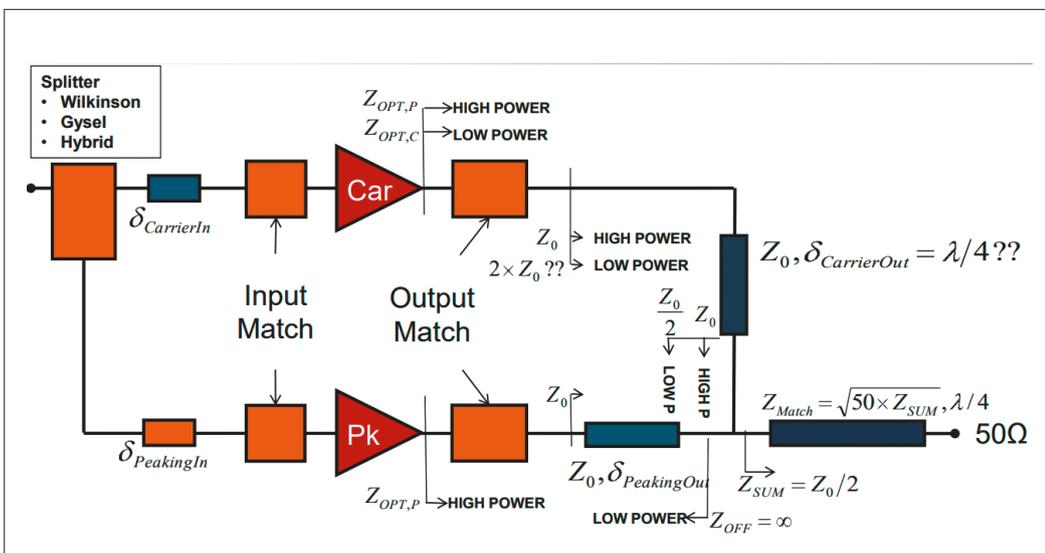
## Entwicklung eines Doherty-Verstärkers

Im Gegensatz zum idealen linearen Fall, der im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, treten in der Praxis parasitäre Effekte, Fehlanpassungen und physikalische Phänomene auf, die zusätzliche Designüberlegungen und Kompromisse erfordern. Bei der Entwicklung eines Doherty-Verstärkerpaares weist jeder Verstärker parasitäre Effekte, durch Abweichungen während der Fertigung, beim Gehäuse, bei den Interconnect-Verbindungen und Anpassungskreisen, auf sowie eine Phasenverschiebung. Die Ausgangsoffset-Leitungen für beide Verstärker sind erforderlich, wobei eine davon von 90° abweicht. Eingangsoffset-Leitungen sind erforderlich, um die Phasen an den Ausgängen anzupassen. Eine Ausgangsanpassung ist erforderlich, die mit der charakteristischen Impedanz der Last übereinstimmt. Designentscheidungen müssen getroffen werden, da eine Impedanz- und Phasenanpassung nicht bei allen Frequenz- und Leistungspegeln während des Betriebs erzielt werden kann.

Das resultierende Diagramm in Bild 4 enthält die komplexe Impedanz- und Phasenanpassungsschaltung, die in der Praxis für Doherty-Verstärker zum Einsatz kommt. Das folgende Verfahren beschreibt das Design jeder Komponente in einem Doherty-Verstärkerpaar, wobei der Trägerverstärker der Klasse AB und der Spitzenwertverstärker der Klasse C entspricht.

### Schritt 1: Optimale Impedanzen auswählen

Aufgrund der Load-Pull-Eigenschaften des Doherty-Verstärkerpaares sollte die gewünschte Ausgangsimpedanz des Trägerverstärkers mit dem Lastwiderstand übereinstimmen, um einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen. Bei niedriger Lei-



**Bild 4:** Ein echter Doherty-Verstärker erfordert zusätzliche Phasen- und Impedanz-Anpassungskreise, um die parasitären Effekte und Fertigungsabweichungen zu kompensieren, wie sie bei physikalischen Schaltungen üblich sind

$$(1) \quad I_1 = \xi \frac{I_{max1}}{2}, \quad I_2 = \begin{cases} 0 & 0 \leq \xi \leq \xi_b \\ \frac{I_{max1}}{2} \frac{\xi - \xi_b}{\xi_b} e^{-j\theta} & \xi_b < \xi \leq I \end{cases}$$

$$(2) \quad V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2, \quad V_{1T} = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

$$(3) \quad Z = \begin{bmatrix} Z_T \frac{Z_L \cos \theta + j Z_T \sin \theta}{Z_T \cos \theta + j Z_L \sin \theta} & \frac{Z_T Z_L}{Z_T \cos \theta + j Z_L \sin \theta} \\ \frac{Z_T Z_L}{Z_T \cos \theta + j Z_L \sin \theta} & \frac{Z_T Z_L \cos \theta}{Z_T \cos \theta + j Z_L \sin \theta} \end{bmatrix} \quad \text{where } Z_L = \xi_b Z_T$$

$$(4) \quad V_1 = \frac{I_{max2}}{2} Z_T \xi \left( \frac{Z_T}{Z_L} - \frac{1}{\xi_b} \right) + \frac{I_{max1}}{2} Z_T, \quad \text{where } I_2 \neq 0$$

choosing  $Z_L = \xi_b Z_T$ ,  $V_1 = V_{ds} = Z_T \frac{I_{max1}}{2}$  where drive levels  $\xi \geq \xi_b$

$$(5) \quad P_{out} = \frac{|V_{1T}|^2}{2Z_L} = \frac{Z_T |I_1|^2}{2\xi_b}, \quad P_{DC} = \frac{2V_{ds}(|I_1| + |I_2|)}{\pi}$$

$$(6) \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{DC}} = \frac{\pi R_{opt} |I_1|^2}{4V_{ds} \xi_b (|I_1| + |I_2|)}$$

$\xi$  is the drive level  
 $\xi_b$  is the drive level at the onset of the Peak Amplifier  
 $I_{max1}$  is the maximum current of the main amplifier  
 $\theta$  is the phase difference  $f_d \frac{\pi}{2}$   
 $f_d = \frac{f}{f_0}$ , where the frequency is normalized to the center frequency  
 $V_{ds}$  is the drain source bias voltage at full power  
 $\eta$  is the drain efficiency

stung sollte die Impedanz des Trägerkreises auf das Zweifache des Lastwiderstands übergehen. Da dies ein eher komplexer Vorgang ist, der vom nichtlinearen Verhalten abhängt, sind gemessene oder genau simulierte Lastkennlinien notwendig, um die maximale Ausgangsleistung unter verschiedenen Lastbedingungen zu bestimmen. Erreicht der Verstärker die volle Komprimierung, können Lastlinien helfen, die optimale Impedanz zu bestimmen, indem ein Punkt mit der besten Verstärkung und Leistungseffizienz ausgewählt wird. Die Zielimpedanz des Trägerkreises kann durch Subtrahieren von 3 dB vom Leistungsmaximum am Ausgang und Überlagern eines SWR-Kreises mit dem Wert zwei, der am optimalen Impedanzpunkt zentriert ist, ausgewählt werden. Der beste Bereich für die Verstärkung und den Wirkungsgrad ergibt sich

dann innerhalb des markierten Bereichs.

### Schritt 2: $Z_{sum}$ auswählen

Die summierte Impedanz ( $Z_{sum}$ ) am Ausgang des Doherty-Verstärkerpaars vor dem Ausgangsimpedanz-Anpassungskreis beträgt die Hälfte der charakteristischen Impedanz der Ausgangsübertragungs-Leitung. Beträgt die summierte Impedanz am Ausgang 50 Ohm, ist ein Ausgangsimpedanz-Anpassungskreis nicht notwendig. Dann muss aber die charakteristische Impedanz der Verstärkerübertragungsleitungen 100 Ohm betragen. Weicht  $Z_{sum}$  der Verstärkerausgänge von der Ausgangsimpedanz ab, muss ein Impedanz-Anpassungskreis am Ausgang entworfen werden, um die maximale Ausgangsleistung und Effizienz über dem gewünschten Frequenzbereich zu kompensieren.

### Schritt 3: Anpassung des Ausgangs

Sowohl der Träger- als auch der Spitzenwertverstärker erfordern einen Ausgangsimpedanz-Anpassungskreis, der die gewählte optimale Impedanz in die charakteristische Impedanz der Übertragungsleitung umwandelt, welche die Verzögerungsleitungen und die Ausgangslastimpedanz-Anpassung speist. Die Anpassung des Verstärkerausgangs sollte für Träger- und Spitzenwertverstärker in etwa gleich sein.

### Schritt 4: Anpassung des Eingangs

Zusätzlich ist ein Impedanz-Anpassungskreis am Eingang jedes Verstärkers erforderlich, um die Impedanz der Übertragungsleitung zwischen den Eingangsverzögerungsleitungen und dem Eingangsleistungsteiler anzupassen. Der Eingangsimpedanz-Anpassungskreis wird in dieser Phase des Designs oft identisch ausgelegt. Dies ist jedoch kein optimales Design. Der Eingangsimpedanz-Anpassungskreis des Spitzenwertverstärkers wird daher oft in der letzten Feineinstellung des Designs angepasst.

### Schritt 5: Design der Trägerverstärker-Ausgangsverzögerungsleitung

Die Ausgangsverzögerungsleitung des Trägerverstärkers muss so ausgelegt sein, dass sie der charakteristischen Impedanz der Ausgangsübertragungsleitung entspricht. Bei geringer Leistung muss die Ausgangsverzögerungsleitung die optimale Trägerimpedanz aufweisen, wenn sie mit der Hälfte der charakteristischen Impedanz abgeschlossen ist. Die Leitung muss dabei möglicherweise auf eine andere Phasenverzögerung als  $90^\circ$  eingestellt werden. Die erforderliche Phasenverschiebung legt dies fest, um sowohl dem Spitzenwert- als auch Trägerverstärkerausgang zu entsprechen.

### Schritt 6: Design der Spitzenwertverstärker-Ausgangsverzögerungsleitung

Da der Spitzenwertverstärker nur während des Hochleistungsbe-

triebs aktiv ist, muss dessen Ausgangsverzögerungsleitung eine sehr hohe Impedanz im Low-Power-Modus und eine Anpassungsimpedanz zur optimalen Spitzenwertverstärkerimpedanz während eines Hochleistungsbetriebs darstellen.

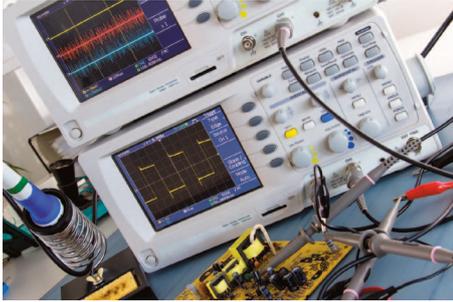
### Schritt 7: Design der Eingangsverzögerungsleitungen und des Splitters

Sowohl der Träger- als auch der Spitzenwertverstärker benötigen eine Eingangsverzögerungsleitung, die die Phase des Signals so einstellt, dass die Ausgänge des Träger- und Spitzenverstärkers am Summierknoten in Phase sind. Ein Leistungsteiler am Eingang teilt die Leistung zwischen den zwei Verstärkern mit minimaler Einfügungsdämpfung auf. Sind die Eingangsimpedanz-Anpassungskreise richtig ausgelegt, sollte eine minimale Impedanz-Abweichung zwischen den Eingängen der Verstärker und dem Ausgang des Leistungsteilers vorliegen. Damit minimieren sich die Fehlanpassungsverluste. Der Leistungsteiler und die Verzögerungsleitungen müssen so ausgelegt sein, dass sie den gewünschten Betriebsfrequenzbereich berücksichtigen.

### Fazit

Da Doherty-Verstärker mit Leistungstransistoren aus Silizium (Si), Galliumarsenid (GaAs) oder Galliumnitrid (GaN) hergestellt und für hochleistungsfähige und effiziente Verstärker bevorzugt werden, ist die Theorie und Praxis dieser Verstärker hilfreich für Entwickler und Techniker im HF- und Mikrowellenbereich. Damit lassen sich verbesserte Systeme bereitstellen, die den höheren Wirkungsgrad dieser Verstärker nutzen können. Da die Forderung nach mehr Effizienz gerade mit steigender Frequenz zunimmt, werden Doherty-Verstärker in komplexen Breitbanddesigns und weiterhin im Millimeterwellenbereich für kommende 5G-Anwendungen und Send-/Empfangs-Module verwendet. ◀

# Ultra-Low-Phase-Noise-Verstärker



Macom Technology Solutions, Inc. gab die Verfügbarkeit erster Komponenten seines neuen Portfolios von Breitbandverstärkern mit extrem niedrigem Phasenrauschen bekannt. Der MAAL-011151 ist in den Baugrößen 2,8 x 1,73 x 0,1 mm und 5 x 5 mm, 32-polig im AQFN-Gehäuse erhältlich und eignet sich ideal als rauscharme Verstärkerstufe für Signalerzeugungsanwendungen in den Bereichen T&M, EW, ECM und Radar.

Wenn man die Frequenzstabilität einer Signalquelle definiert, ist das Phasenrau-

schen eine kritische Spezifikation mit erheblichen Auswirkungen auf die Empfängerempfindlichkeit. Macoms MAAL-011151 minimiert den Phasenrauschbeitrag durch LO-Signal Gain zur Verbesserung der spektralen Integrität für T&M- und Kommunikations-Systeme, der Zielerfassung für Radar sowie für Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsanwendungen (A&D).

Der MAAL-011151 liefert 16 dB lineare Verstärkung über das Frequenzband von 2 bis 18 GHz, hat 17,5 dBm P1dB und 5 dB Rauschzahl bei 10 GHz mit Ein- und Ausgängen, die vollständig auf 50 Ohm abgestimmt und DC-blockiert sind. Die Verstärkersteuerung ist durch die Verwendung einer Steuerschaltung oder durch direkte Vorspannung möglich. Der MAAL-011151 wird in einem HBT-Prozess mit niedrigem Phasenrauschen hergestellt, der eine vollständige Passivierung für erhöhte Zuverlässigkeit bietet.

Mit der Erweiterung des Portfolios um weitere diskrete Verstärker, die zusätzliche

Frequenzen abdecken, und integrierte LO-Module mit niedrigem Phasenrauschen werden Systemdesigner von der nahtlosen Gerätekompatibilität und hohen Leistung über die gesamte Signalkette hinweg profitieren.

## Weitere MAAL-011151-Die-Parameter:

- Phasenrauschen (12 GHz +3 dBm, 1 kHz Offset) in dBC/Hz: -150
- Vorspannung V/mA: 5/60
- Die-Abmessungen in mm: 2,8 x 1,73 x 0,1

Die MAAL-011151 werden von Kunden in Bare-Die- und Package-Formaten bemustert. Unterstützung bei der Identifizierung von Macom-Produkten, die optimiert wurden, um Angebote anderer Anbieter zu ersetzen oder zu ersetzen, finden Interessenten im Macom-Cross-Reference-Tool und weitere Informationen über die MAAL-011151 unter [www.macom.com/products/product-detail/MAAL-011151](http://www.macom.com/products/product-detail/MAAL-011151).

■ Macom Technology Solutions, Inc.  
[www.macom.com](http://www.macom.com)

## Von ISS bis Deep Space - Faszination Weltraumfunk

Aus den Medien erfährt man immer wieder von neuen Raumfahrt-Missionen. Da geht es um Entfernungen, Reisegeschwindigkeiten, Instrumente, Forschungsziele und Zeithorizonte. Doch wie die gewonnenen Daten auch von der Raumsonde zur Erde übermittelt werden, bleibt meist unerwähnt. So ist beispielsweise die Gemeinsamkeit fast aller Missionen, das Deep Space Network der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA, in der Öffentlichkeit kaum bekannt. Dieses Buch stellt es näher vor und beschreibt, wie Satelliten, Raumstationen, Raumsonden und Lander mit der Erde kommunizieren. Dazu dienen ausgewählte Satellitensysteme und Raumfahrt-Missionen als anschauliche Beispiele. Und zum Schluss erfährt der Leser noch, welche Überlegungen etwa für eine Kommunikation über interstellare Distanzen angestellt werden müssen, wie man sich auf realistische Weise dem Thema SETI nähert und was für eine Rolle Laser-Strahlen und Quanten bei der Kommunikation im Weltraum für eine Rolle spielen.

### Aus dem Inhalt:

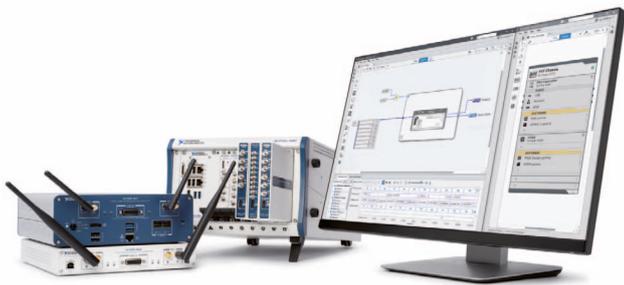
- Das Dezibel in der Kommunikationstechnik
- Das Dezibel und die Antennen
- Antennengewinn, Öffnungswinkel, Wirkfläche
- EIRP – effektive Strahlungsleistung
- Leistungsflussdichte, Empfänger- Eingangsleistung und Streckendämpfung
- Dezibel-Anwendung beim Rauschen
- Rauschbandbreite, Rauschmaß und Rauschtemperatur
- Thermisches, elektronisches und kosmisches Rauschen
- Streckenberechnung für geostationäre Satelliten
- Weltraumfunk über kleine bis mittlere Entfernungen
- Erde-Mond-Erde-Amateurfunk
- Geostationäre und umlaufende Wettersatelliten
- Antennen für den Wettersatelliten
- Das „Satellitentelefon“ INMARSAT



Frank Sichla, 17,5 x 25,3 cm, 92 S.,  
72 Abb.  
ISBN 978-3-88976-169-9, 2018, 14,80 €

- Das Notrufsystem COSPAS-SARSAT
- So kommuniziert die ISS
- Kommunikation mit den Space Shuttles
- Das Deep Space Network der NASA
- Die Sende- und Empfangstechnik der Raumsonden u.v.m.

# Neue Funktionen für LabVIEW NXG



## LabVIEW NXG FPGA-Module

National Instruments stellte ein neues Release von LabVIEW NXG vor, eine weitere Investition in die nächste Generation seiner Systemdesignsoftware LabVIEW. In der aktuellen Version von LabVIEW NXG wurden einige der zeitaufwändigsten Aufgaben bei automatisierten Mess- und automatisierten Prüfanwendungen vereinfacht wie z.B. die Einrichtung und Konfiguration von Systemen, die Entwicklung von Mess- und Prüfcode sowie die Erstellung webfähiger Anwendungen. Diese Verbesserungen unterstützen Anwender bei der Einhaltung knapper Markteinführungsfristen.

„Seit der Einführung von LabVIEW NXG im Jahr 2017 haben wir kontinuierlich daran gearbeitet, die Programmierung und Messautomatisierung für Ingeni-

eure und Wissenschaftler noch intuitiver und zugänglicher zu gestalten“, so Dave Wilson, Vice President of Platform Software bei NI. „In den letzten einhalb Jahren haben wir LabVIEW NXG über 40 neue Funktionen hinzugefügt und damit eine bemerkenswert effiziente Entwicklungssoftware geschaffen, sodass Ingenieure mit nur einem Tool ihre Testergebnisse konfigurieren, automatisieren und visualisieren können.“

Zu den neuen Funktionen von LabVIEW NXG gehören:

- LabVIEW NXG FPGA Module

Das Modul bietet Unterstützung für USRP- (Universal Software Radio Peripheral) und FlexRIO-Kintex-7-Geräte sowie neue Arbeitsabläufe für eine schnel-

lere FPGA-Entwicklung und -Fehlerbehebung.

- LabVIEW NXG Web Module

Das Modul beinhaltet Ereignisse und Eigenschaften für dynamische Webanwendungen, Unterstützung für die Integration von JavaScript-Bibliotheken in WebVIs und Zugriff auf System-Link-Cloud-Software, ein von NI gehosteter Cloud-Dienst mit einfachem und sicherem Web-Hosting für WebVIs.

- Verbesserungen der Entwicklungsumgebung

Dazu gehören Integrations- und Software-Entwicklungstools für die schnelle Anpassung von Anwendungen, u.a. mit Unterstützung für registrierte .NET-Assemblies, sowie neue Tools für Projektabhängigkeiten und die Möglichkeit zur Anbindung

von MATLAB-Software. Über die Schnittstelle für MATLAB lässt sich MATLAB-Code direkt aus LabVIEW NXG heraus aufrufen, sodass bestehendes IP vollständig wiederverwendet werden kann.

Die aktuelle Version der nächsten Generation von LabVIEW setzt eine Reihe von Software-Releases fort, welche die Entwicklungsfunktionen von LabVIEW vom Entwurf bis zum Testen stetig erweitern. Mit dem Kauf von LabVIEW haben Anwender sowohl Zugriff auf LabVIEW NXG als auch LabVIEW 2018. Eine Evaluierungsversion von LabVIEW NXG steht auf der Seite [www.ni.com/labviewnwg](http://www.ni.com/labviewnwg) zur Verfügung.

■ National Instruments, Inc.  
[www.ni.com](http://www.ni.com)



LabVIEW NXG Web-Module

## Fachbücher für die Praxis



### Digitale Oszilloskope Der Weg zum professionellen Messen

Joachim Müller  
Format 21 x 28 cm, Broschur,  
388 Seiten,  
ISBN 978-3-88976-168-2  
beam-Verlag 2017, 47,90 €

Ein Blick in den Inhalt zeigt, in welcher Breite das Thema behandelt wird:

- Verbindung zum Messobjekt über passive und aktive Messköpfe
- Das Vertikalsystem – Frontend und Analog-Digital-Converter
- Das Horizontalsystem – Sampling und Akquisition
- Trigger-System
- Frequenzanalyse-Funktion – FFT
- Praxis-Demonstrationen: Untersuchung von Taktsignalen, Demonstration Aliasing, Einfluss der Tastkopfimpedanz
- Einstellungen der Dezimation, Rekonstruktion, Interpolation
- Die „Sünden“ beim Masseanschluss

- EMV-Messung an einem Schaltnetzteil
- Messung der Kanalleistung

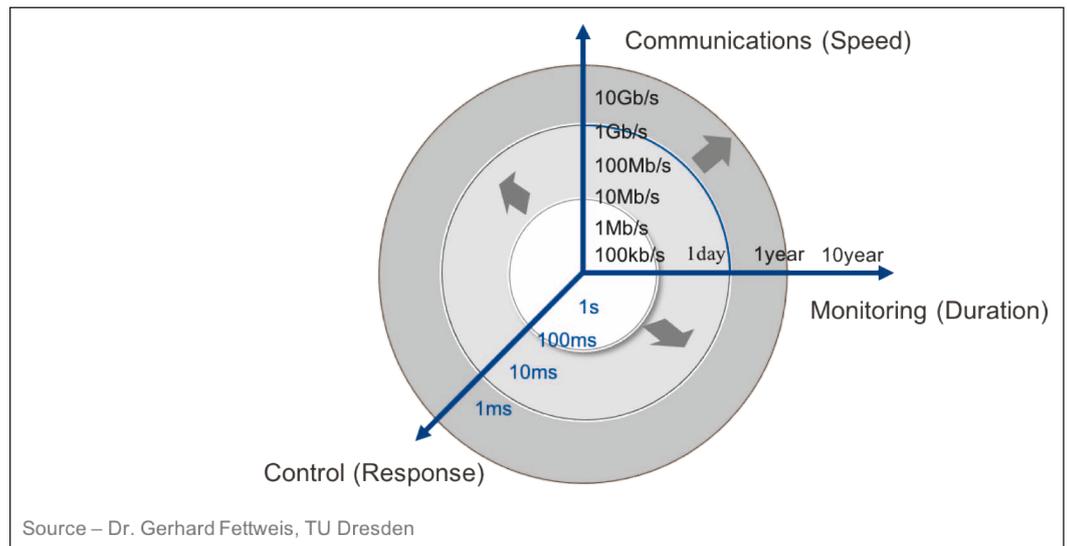
Weitere Themen für die praktischen Anwendungs-Demos sind u.a.: Abgleich passiver Tastköpfe, Demonstration der Blindzeit, Demonstration FFT, Ratgeber Spektrumdarstellung, Dezimation, Interpolation, Samplerate, Ratgeber: Gekonnt triggern.

Im Anhang des Werks findet sich eine umfassende Zusammenstellung der verwendeten Formeln und Diagramme.

Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter [www.beam-verlag.de](http://www.beam-verlag.de)  
oder bestellen Sie über [info@beam-verlag.de](mailto:info@beam-verlag.de)

## 5G Primer for MIMO/Phased Array Antennas

### Teil 2: Platform Bridges the 5G/Verification Gap



**Figure 1: 5G goals for communication speeds and latency to support wireless control called for with the IoT and IIoT**

The emerging third phase of information connectivity will change the use of wireless technology dramatically. The first phase connected homes and businesses through wired telephony and the early internet via dial-up modems. Over the last few decades, the development of communication networks has been superseded by wireless mobile technology connecting people instead of places. Today, there are over seven billion mobile devices in the world connecting over 3.8 billion people - the next frontier will be to connect things through the developing IoT concept. It has been well published that within the next decade at least 10 times the number of things as people will be connected.

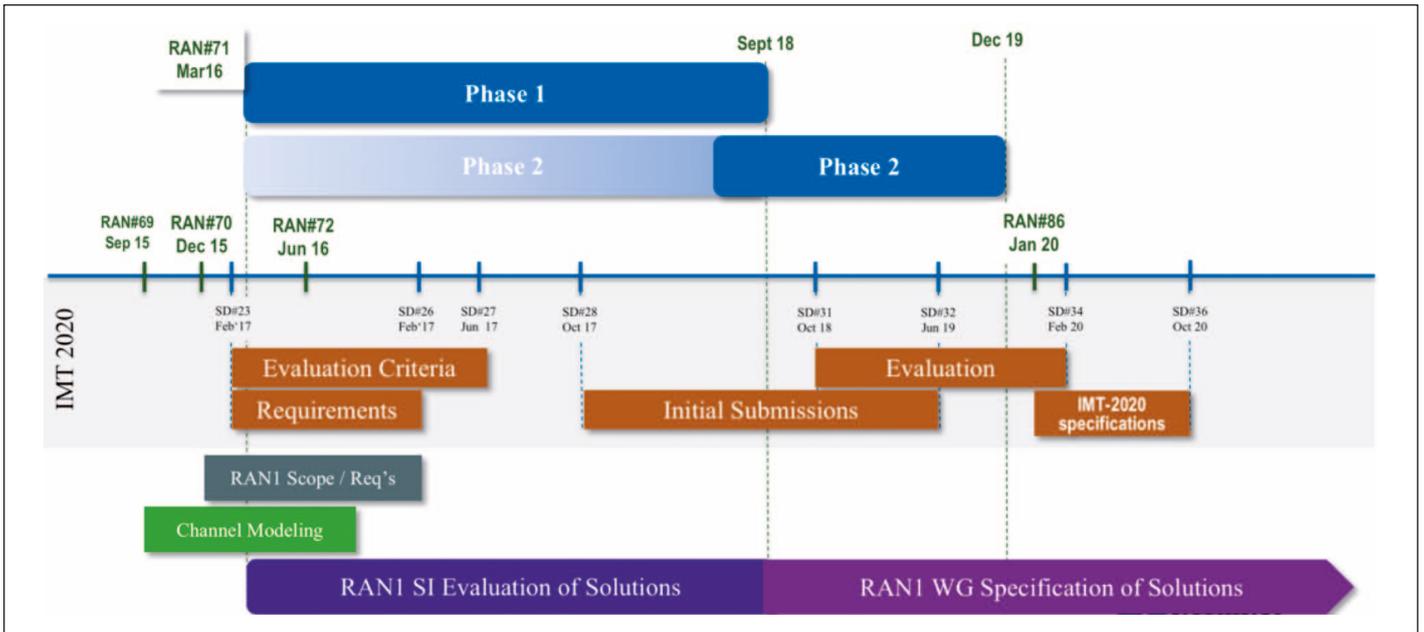
This new era will usher in a host of new wireless technologies to support IoT and the underlying 5G infrastructure currently in the early conceptual phase. The

promise of increased information bandwidth and faster response times (low latency) for real-time wireless control with minimal power consumption are highly attractive system goals, as shown in Figure 1. Achieving these goals will pose a significant challenge to design teams working on the enabling semiconductor technology and infrastructure that will define the physical (PHY), medium access control (MAC), and routing layers of future 5G networks. Although the technical requirements necessary to make 5G and IoT a commercial success are demanding, the economic potential and business opportunities are enormous. Thus, billions of dollars are being poured into industry and academia research.

5G networks will likely be based on multi-radio access technology (multi-RAT) using existing cellular base stations to ensure broad coverage and high mobi-

lity and interspersed small cells for capacity and indoor service. These future networks will use a combination of small-cell and macrocell base stations, as well as cellular and wireless networking (WiFi), with considerable research into using WiFi for cellular traffic offloading. Although there is not yet full agreement on which technology will address the 5G challenge, researchers are converging on four vectors:

- massive MIMO technology - dramatically increases the number of antennas a base station employs for mobile device coverage, as well as high-speed backhaul links
- Network densification – includes space (dense deployment of small cells to achieve greater coverage using more nodes) and spectral (utilizing larger portions of radio spectrum in diverse bands



**Figure 2: 3GPP and ITU timeline for 5G standards specification**

- 5G waveforms – increases bandwidth utilization through structural improvements of signals and modulation techniques
- mmWave frequencies - new spectrum (3-300 GHz) frequency ranges to provide very large bandwidths capable of delivering multi-Gbps data rates, as well as the extremely dense spatial reuse to increase capacity

2020 specifications, work needs to begin now.

Fortunately, advancements in microwave and signal processing technologies such as gallium nitride (GaN) transistors, new MMIC/extreme MMIC devices, heterogeneous “More-than-Moore” integration, cost reductions for front-end modules/

packaging, new mmWave silicon ICs, and advanced antenna integration/electronic beam steering will enable new wireless technology standards such as 802.11ax, Wireless Gigabyte Alliance (WiGig), and the ambitious goals being outlined for 5G. The challenges in IC and system design include the nonlinear dis-

tortion of PAs, phase noise, IQ imbalance, highly-directional antenna design, and more.

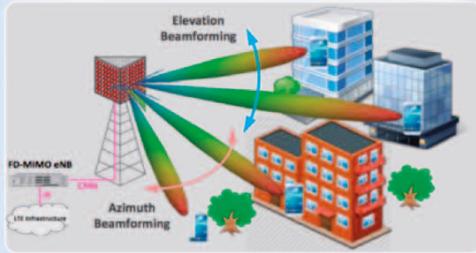
Electronics targeting 5G/IoT applications will incorporate novel materials, new semiconductor devices, interconnect technology, and circuit architectures within existing and evol-

Every radio component, from PAs to filters and antennas, will play a key role in realizing 5G/IoT connectivity. System performance will require that these electrical components function as mini systems with ever-increasing levels of integration and functional density. Figure 2 shows a combination of the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) and the International Telecommunications Unit’s (ITU) 5G standards specification timeline. Phase 1 has been defined as looking at the sub-40 GHz frequency bands and with bandwidths greater than 100 MHz. However, Phase 2 includes research up to 100 GHz. Phase 2 is only 15 months, which is a very short amount of time. If researchers want to be successful during Phase 2 and have relevant work to submit for the IMT

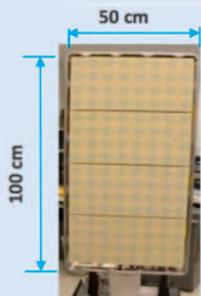


**Figure 3: High-frequency product development flow accelerated through shared data models and design automation using NI AWR Design Environment and LabVIEW design platforms**

## FD-MIMO Macro Deployment

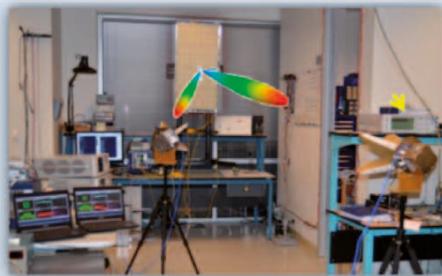


## FD-MIMO Macro Prototype (LTE Rel-9)



Macro-Cell	
Carrier Freq.	2.6GHz
Max. Tx Pwr	40 dBm
# TXRUs	32
# MU-MIMO	4

## Indoor Lab. Test (Dec 2013)



## Outdoor Field Test (Jan 2014)



**Figure 4: Samsung FD-MIMO 3D beamforming prototyping system implemented with four NI USRP RIO software receivers**

ving platforms such as modules and sub-systems.

The task of developing and integrating this new technology is easier said than done. Technology integration at this level is implemented by numerous design groups and engineering disciplines working in unison.

Coordinating design activity requires a pragmatic, top-down/bottom-up approach cogni-

zant of overall system performance while maintaining awareness of the detailed electrical interactions between structures channeling high-frequency/speed signals within the physical design.

Design trends in high-frequency component integration are steering engineers to approach electronic design differently than in the past.

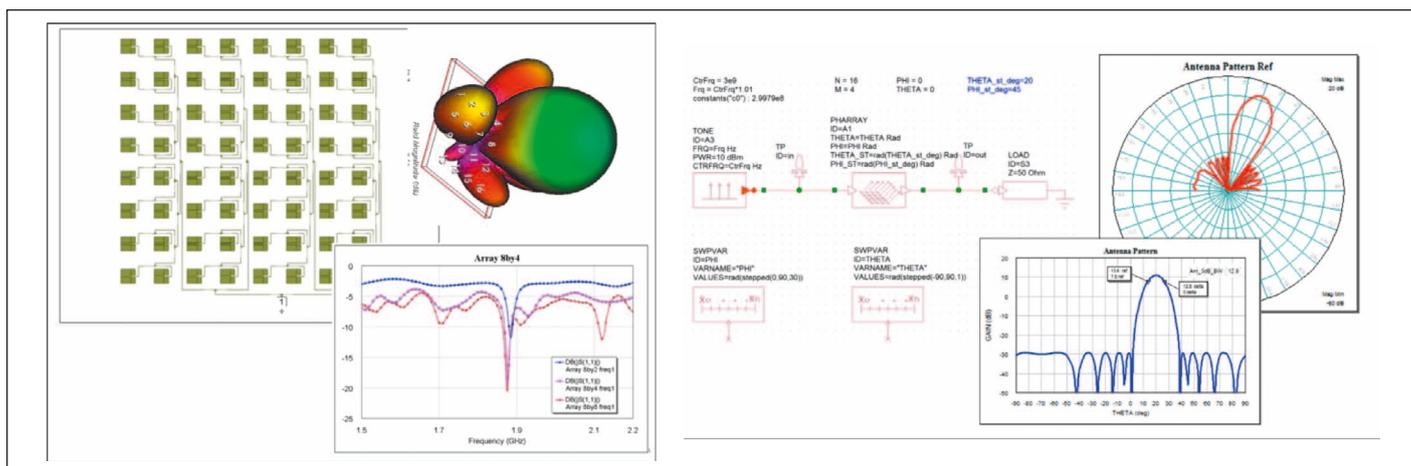
The challenge for product development teams targeting 5G/IoT opportunities will be to shorten the design cycle and reduce failure through proper up-front planning, specifying realistic radio-block performance, outlining detailed circuit requirements, verifying via electromagnetic (EM) (and possibly multi physics) simulation, and performing early prototype testing with the ability to incorporate results back into the system simulation. For organizations of any size, the top-down/bottom-up approach calls for design tool integration that includes a system-level understanding of overall performance based on data representing individual components from a range of simulation and/or measurement sources.

Managing the design project through system simulation helps guide the early development process and enables integrators to generate a link budget (accounting for losses and gains through the signal chain), define the component specifications, and monitor the overall performance. Design detail from circuit/EM simulation and/or measurement is added as it becomes available. A design platform that supports system-level data management of circuit/EM simulation and/or measurement-based results should be able to directly access this data through tool interoperability.

For the process described, research and development (R&D) teams will be able to manage the overall development project using a data flow specific to their process technology (foundries, vendors) and integrating their simulation (optimization, yield analysis), physical design (layout, PDKs, design rules) and verification (electromagnetic, test) across all design software/measurement phases. The electrical design phase is best served by a unified design platform that integrates physical design (layout and process stack-up) with the following capabilities:

- High-frequency circuit linear, steady-state nonlinear (frequency-based harmonic balance) and transient (non-steady-state time domain)
- Communication systems - behavioral component models, waveform sources, digital modulation
- EM analysis of electrical behavior of 2D (planar) and 3D structures excited with high-frequency signals. Electrical interaction between radio blocks is more prevalent when they are tightly integrated into a small form factor without the benefit of distance and/or shielding to prevent performance-crippling behavior from EM coupling.
- Manufacturing analysis such as yield and corner analysis to access the impact of manufacturing tolerances
- Interoperability between physical design tools (layout), manufacturer/IC fab device models, measurement data, and multi-physics verification

NI, a leading collaborator with top industry and academic 5G researchers, offers this interoperability through its RF/microwave design software and hardware/software measurement solutions. NI AWR Design Environment platform offers a complete platform, integrating Visual System Simulator™ (VSS) system design software, Microwave Office circuit simulation software, AXIEM planar EM simulation, Analyst 3D finite element method (FEM) EM simulation, and links to third-party EM simulators from Sonnet and ANSYS, as well as computer-aided design (CAD) tools from Cadence, Mentor Graphics, and Zuken. The platform also provides a link from simulation to prototype testing through interoperability with NI's LabVIEW a system-design platform and development environment, which supports test instrument control, data acquisition, and industry automation (Figure 3).



**Figure 5: a) patch antenna array design using AXIEM simulation for planar EM simulation and b) system-level simulation of a phased array**

The integration of simulation technologies, system prototyping tools, and automated test equipment by NI AWR Design Environment and LabVIEW platforms is critical for addressing the complexity of developing 5G wireless technology. In these cases, design teams will need to rely on a combination of simulation and prototype testing in order to ensure design robustness. Although simulation is essential to design a test bed or prototype, measurement is often needed to validate assumption made before fabrication, and to convince others of design viability.

Gary Xu, director of research at Samsung, showcased one of the first public demonstrations of a prototype for a 5G full-dimensional MIMO (FD-MIMO) base station at NIWeek 2015 in Austin, TX. The demo comprised a small base station containing the FD-MIMO antenna array and four NI reconfigurable I/O (RIO) and universal software radio peripheral (USRP) receivers, which emulated into four “5G” handled terminals. One of the key technologies of the demonstration was Samsung’s new 3D beamforming algorithms. The prototype demonstrated that 3D beamforming enabled higher throughput and an increase in the number of supported users. In this instance, the system improved from enabling 2 Mbps for one user to 25 Mbps for four users with the use of 3D beam-

forming. Dr. Xu’s demonstration, shown in Figure 4, is an excellent example of radio prototyping as an important tool for proving the viability of a given system design.

On the simulation side, NI AWR Design Environment platform helps engineers develop radio components such as PAs, filters, antennas, sources such as voltage-controlled oscillators (VCOs), control circuits such as mixers, converters, and switches, and interconnect technologies before fabrication. For example, 5G will require significant use of advanced antenna technologies. Because of the high-bandwidth, low-power requirements and considerable channel losses at mmWave frequencies, antenna designs will be needed with multiple, directed beams and polarization diversity and control (as in Figure 4). Phased arrays are an obvious candidate to meet these requirements. This, in turn, requires the circuit simulation and system environments to support phased array simulations.

Traditionally, the phased array is simulated in an EM simulator and the resulting S-parameter file is embedded into the circuit simulator to complete the design. The integrated circuit and EM simulators allow the designer to investigate how the antenna and circuit interact with each other. In particular, the impedance of the array’s ports changes with the scan angle of the beam. In

turn, the performance of the PA driving the antenna is severely affected by the port impedances. The designer must often go back and forth between the antenna simulation and circuit simulation to accurately model this behavior. Microwave Office software can now automatically couple the two simulations.

The PA “sees” the changing port impedance and the antenna scans its beam as the input power and phasing to the input ports is changed. Along with saving time and reducing errors, the designer can now optimize and perform yield analysis on circuit/antenna systems. Figure 5 shows how EM co-simulation will continue to play an important role in the development of densely populated high-frequency electronics and interconnect characterization.

Recent work from Université du Québec à Rimouski (UQAR) students led by Dr. Chan-Wang Park provides an example of simulation and test data being applied together in a 5G design. The design team developed a 6-watt, 1 GHz PA for use with 5G MIMO multi-carrier signals. Because they wanted to linearize the PA in the future, the team intended to correct the nonlinearity of the PA by using a neural network pre-distortion linearizer, Volterra, or polynomial pre-distortion linearizer developed with NI AWR Design Environment and Lab-

VIEW platforms. A digital pre-distorter in the baseband will be used to create an expanding non-linearity that is complementary to the compressing characteristic of the PA.

Figure 6: a) Load/source pull data and test set-up diagram used for model verification and impedance matching (fundamental and 3rd harmonic) and b) PXI-based RF measurement platform for 4x4 MIMO.

The design team was able to achieve first-pass PA design success through detailed circuit/EM co-simulation using Microwave Office and AXIEM software, along with scalable high-frequency Modelithics models of the Cree GaN transistor, imported multi-harmonic source and load-pull data (for impedance matching and model validation) from Focus Microwave, and the NI PXI RF instruments automated with LabVIEW for fast test results of the PCB-based prototype, shown in Figure 6. The team was able to develop a simplified solution for future 5G MIMO telecommunication system standards using a pre-distortion linearizer, which will be implemented in NI LabVIEW software and executed on a Xilinx Virtex-6 field-programmable gate array (FPGA). Together these interoperable platforms will give design teams the power and flexibility to realize the high-frequency electronics that will drive 5G and IoT.

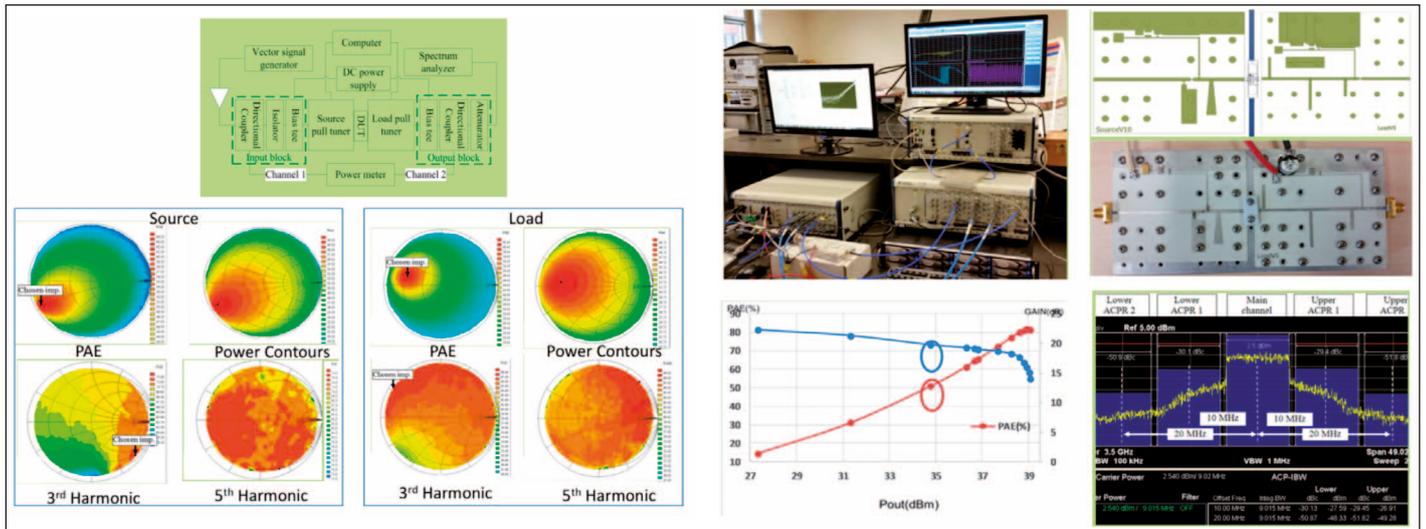


Figure 6: a) Load/source pull data and test set-up diagram used for model verification and impedance matching (fundamental and 3rd harmonic) and b) PXI-based RF measurement platform for 4x4 MIMO

**Summary**

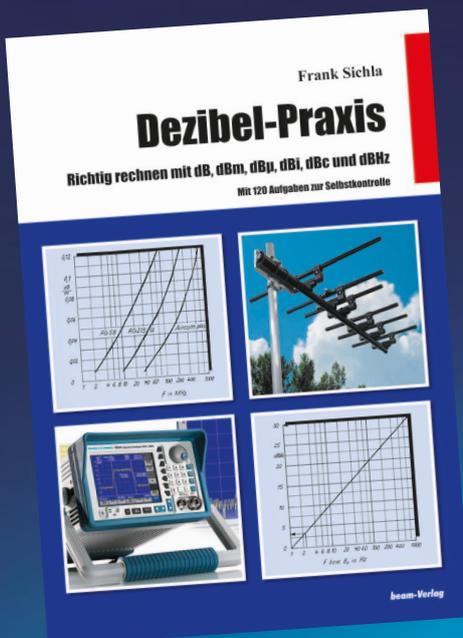
The emerging third phase of information connectivity will usher in a host of new wire-

less technologies to support 5G and IoT infrastructure. Increased bandwidth and low latency with minimal power consumption are desirable goals, howe-

ver achieving these goals will pose significant design challenges. This chapter has examined some of these challenges and has demonstrated how NI

AWR Design Environment software and NI hardware/software measurement solutions will help designers conquer these challenges. ◀

# Fachbücher für die Praxis



## Dezibel-Praxis Richtig rechnen mit dB, dBm, dBμ, dBi, dBc und dBHz

Frank Sichla, 17,5 x 25,5 cm, 94 S., 82 Abb., zahlreiche Tabellen und Diagramme; 120 Aufgaben zur Selbstkontrolle, mit Lösungen.  
ISBN 978-88976-056-2, 2007, 12,80 €  
Art.-Nr.: 118064

Das Dezibel ist in der Nachrichtentechnik zwar fest etabliert, erscheint aber oft noch geheimnisvoll. Will man genauer wissen, was dahinter steckt, kann man

zu mathematiklastigen und trockenen Lehrbüchern greifen. Darin stehen viele Dinge, die man in der Funkpraxis gar nicht braucht und die eher verwirren. Andererseits vermisst man gerade die „Spezialitäten“, denen man schon immer auf den Grund gehen wollte.

Der Autor dieses Buches hat dieses Dilemma erkannt und bietet daher hier eine frische, leicht verständliche und mit 120 Aufgaben und Lösungen überaus praxisgerechte Präsentation des Verhältnismaßes „dB“ mit all seinen Facetten.

Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter [www.beam-verlag.de](http://www.beam-verlag.de) oder bestellen Sie über [info@beam-verlag.de](mailto:info@beam-verlag.de)

# Design of Matching Networks for Virtual Antenna Technology Using NI AWR Software

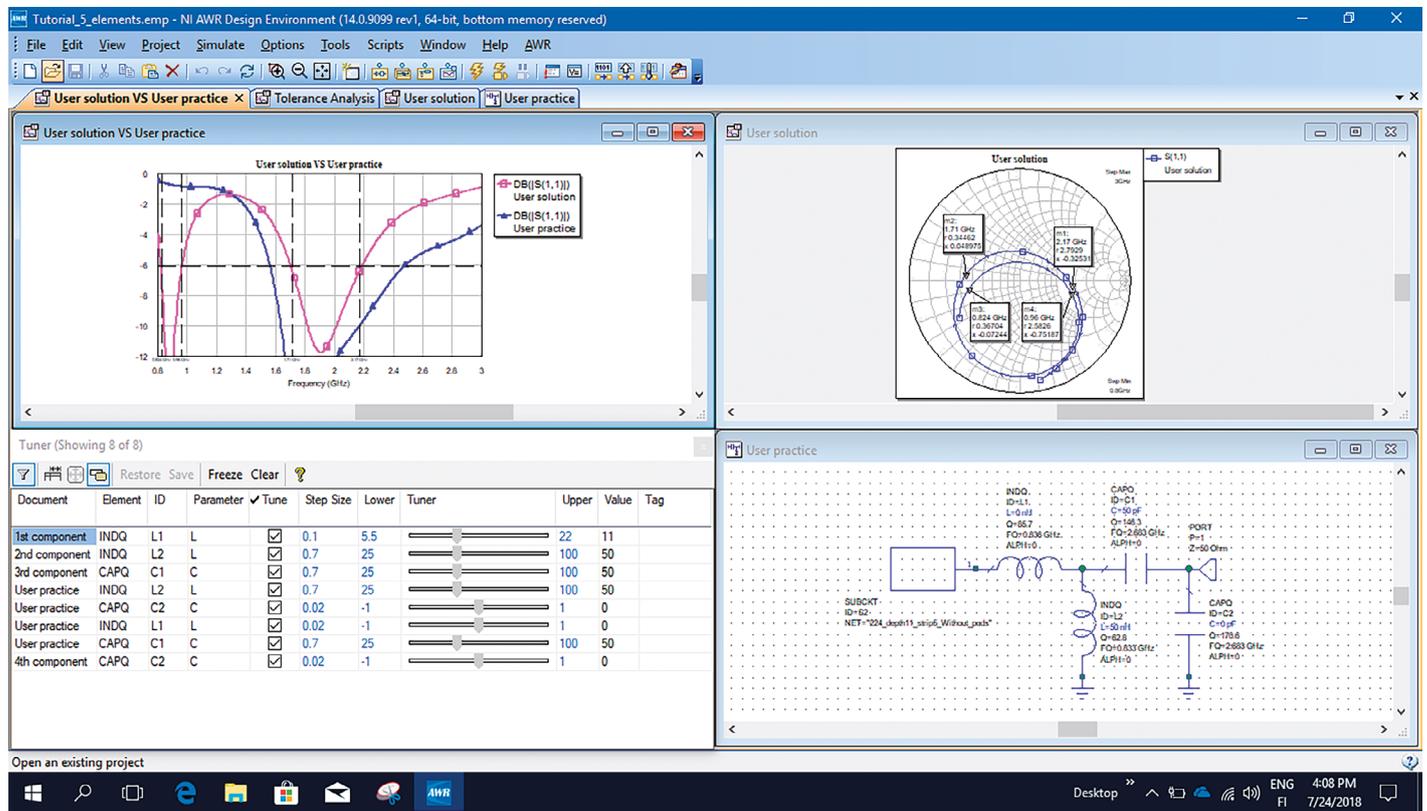


Figure 1: Schematic and simulation results shown in Microwave Office software

Drs. Jaume Anguera and Aurora Andújar teach a masters course in antenna technology in which they challenge their students to design small and multiband antennas using the Virtual Antenna antennaless technology developed by commercial partner Fractus Antennas. This technology relies on the use of a very simple antenna booster element with a matching network. In this way, the number of bands is fixed by the matching network, which is much faster and more flexible than designing a particular antenna geometry.

Using the same antenna booster, students have mastered the concept that by changing the matching network, the antenna system can operate at any band of any communication system, such as mobile or internet of things (IoT).

The professors chose the NI AWR Design Environment platform, specifically Microwave Office circuit design software, for their students to design matching networks for the Virtual Antenna technology. S-parameter files of an antenna booster without any matching network were provided. Each group of three students designed the following cases:

- Project #1: Industrial, scientific, and medical radio band (ISM) 850, ISM 900
- Project #2: Global Navigation Satellite System (GNSS)
- Project #3: Long-Term Evolution (LTE) 900 MHz, LTE 1800 MHz
- Project #4: LTE 850 MHz, LTE 900 MHz, LTE 1900 MHz, LTE 2100 MHz

The groups designed the appropriate matching network with lumped elements (inductor and capacitors). Ideal components were used first and then finite Q components were considered to analyze the impact of real elements, as shown in Figure 1.

In addition, Microwave Office optimization tools were used to obtain the values of L and C in the matching network. Finally, tolerance analysis was carried out to test the robustness of the designed matching networks. Using this procedure, students mastered how to design advanced antenna systems from a microwave perspective.

Special thanks to Drs. Jaume Anguera and Aurora Andújar for their contributions to this success story. ◀

Company: La Salle, a founding member of Universitat Ramon Llull. The institution focuses on entrepreneurship through La Salle Technova Barcelona

National Instruments [www.ni.com/awr](http://www.ni.com/awr)

# Design of a 1.5 GHz Doppler Radar Using NI AWR Software

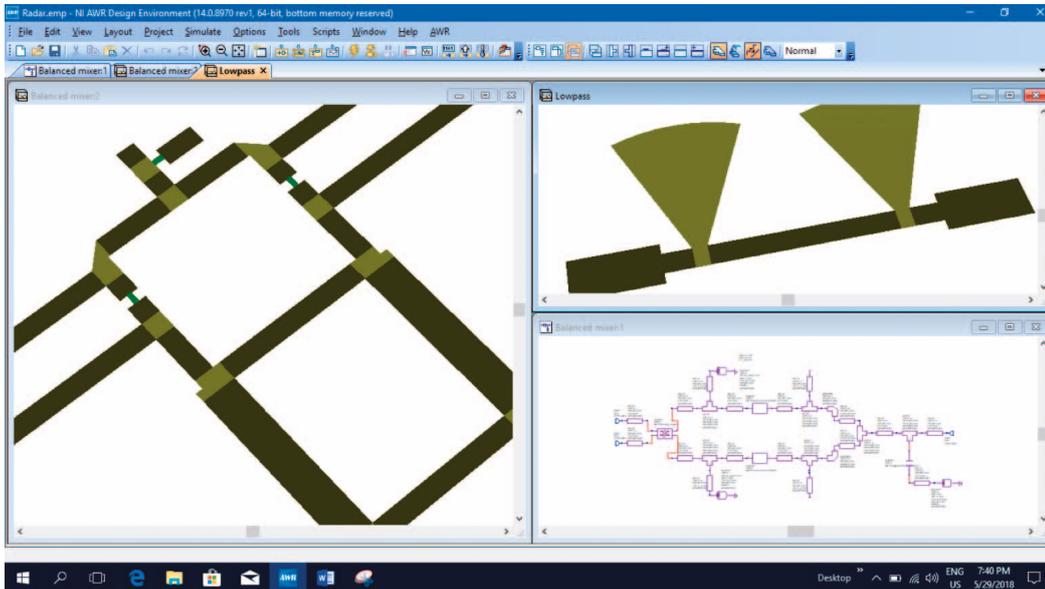


Figure 1: Microwave Office screen showing mixer and low-pass filter designs.

tion. An example of balanced mixer and low-pass filter student designs are shown in Figure 1 and the simulation results of the mixer are shown in Figure 2.

## Conclusion

The goal of the Aalto University Microwave Engineering II course is to support student learning through hands-on design and simulation exercises, as well as to familiarize students with professional simulation tools. Professor Viikari chose NI AWR Design Environment software for this course because it is very intuitive and provides a complete tool set, from circuit and electromagnetic (EM) simulation to system analysis and PCB layout design. The software's ease of use enables students to fully focus on their exercises without spending time learning numerous different design tools. After completing the course, students feel very capable of tackling virtually any real-world microwave engineering design or analysis challenge.



Special thanks to Ville Viikari, Associate Professor and Director of Electronics and Nanotechnology Master Program for his contributions to this success story. ◀

**Microwave Engineering II is a master-level course offered in Aalto University School of Electrical Engineering.**

The goal of the course is for students to learn to analyze and design passive and active microwave components such as couplers, filters, mixers, oscillators, and amplifiers, as well as systems consisting of many components.

To reach this goal, the students design various components during the course and integrate them into a complete system at the end. The theme in 2018 was to design a 1.5 GHz Doppler radar on a single printed-circuit board (PCB) using surface-mount passive and active components. The designed building blocks required to realize the radar were an oscillator, amplifiers, a mixer, couplers, and filters.

software to teach his students how to design the components and integrate them into the radar PCB. Two key advantages of NI AWR software are that the tools are free as part of the AWR University Program and the platform is easy to use and intuitive.

The design of each component was based on a simplified architecture with theoretical exercises supporting the students' understanding of the underlying principles. Design practicalities were then introduced, for instance, the use of realistic lumped component models, including the PCB layout in the simulations as well as possible bias networks. At the end of the course, the entire design was fine-tuned, and its operation was verified with system-level simulation tools.

Matching networks were designed with the AWR Connected for Optenni Lab software solu-

## Solution

Professor Viikari chose NI AWR Design Environment simulation

Company: Aalto University, Helsinki, Finland

National Instruments  
www.ni.com/awr

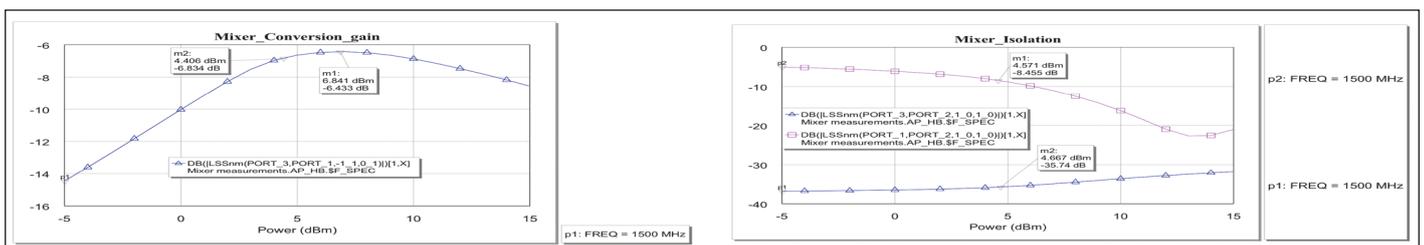


Figure 2: Mixer simulation results for gain and isolation.

## Connectivity Solutions for Emerging Automotive Platforms

Skyworks Solutions, Inc. introduced its suite of next generation SkyOne Ultra 3.0 devices specifically designed for advanced automotive applications. Skyworks' newest wireless solutions are derivatives of the Company's highly successful SkyOne cellular platform, delivering robust, low latency, high bandwidth LTE connectivity in addition to extended operating temperature ranges and production lifetimes. The portfolio exceeds LTE CAT 16 requirements, is scalable to 5G new radio standards and supports all global cellular bands. Given their compatibility with all leading chipset providers and a simplified compliance process, these highly integrated architectures are being adopted by customers to reduce design complexity as well as time to market.

Embedded navigation systems, diagnostic capabilities, personalization services and other smart features are fueling consumer demand for connected cars. In fact, IHS Markit forecasts that worldwide sales will



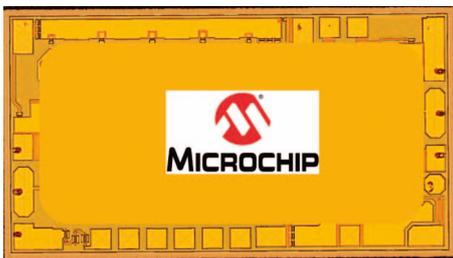
increase from 24 million units in 2015 to more than 72 million by 2023. Placing this growth in perspective, in eight years nearly 70 percent of the passenger vehicles sold will be transmitting data with external sources, bringing new services and business models to automotive markets.

SkyOne Ultra 3.0 incorporates the key analog and RF functionality in both transmit and receive paths of LTE communications. Transmit devices contain power amplifier modules with SkyBlue™ technology for improved efficiency, as well as integrated duplexers (PAMiDs), low noise ampli-

fiers (LNAs) and antenna switches. Diversity receive (DRx) modules combine the necessary components within the LTE receive path including LNAs, filters and antenna switches. The complete cellular solution is contained in a package of less than 40 mm x 40 mm, a critical element in meeting automotive-qualified network attached device (NAD) reliability requirements. Further, the connectivity engines can be regionally optimized for North American, European, Chinese and other SKUs to achieve additional cost savings.

- SKYA230xx – Front-end modules with SkyBlue enabling technology, LNAs and integrated duplexers
  - SKYA220xx – Suite of power amplifiers
  - SKYA250xx – DRx and MIMO modules
  - SKYA21xxx – Discrete switches and LNA products
- Skyworks Solutions, Inc.  
www.skyworksinc.com

### Traveling Wave Amplifier Offers 65 GHz Bandwidth



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a broad bandwidth, low-noise amplifier from Microsemi. With seven amplification stages, the MMA036AA Traveling Wave Amplifier offers 11 dBm P1dB (14.5 dBm pSat) for applications to 50 GHz. Gain flatness over this bandwidth is 10.5 dB +/-1.25 dB, ideal for Test & Measurement equipment, EW & Radar equipment, Microwave Signal Sources/Synthesizers, Fiber Optic Modules and other wideband microwave signal chains. Noise figure measures only 5 dB. The MMA036AA integrates a

temperature-referenced power detector for power monitoring. Drawing 85 mA from a 4.5 V source, this TWA is offered on 100% DC, RF and visually tested die measuring 64.6 x 36.2 mils. Usable bandwidth extends as low as 40 MHz and up to 65 GHz.

■ RFMW, Ltd. www.rfmw.com

### High-Power SPDT Switches



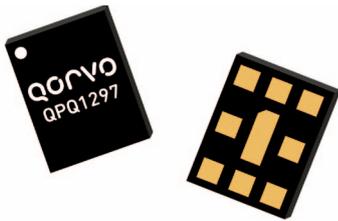
Skyworks' newest family of high-power SPDT switches, the SKY12241-492LF, SKY12242-492LF and SKY12245-492LF, deliver leading performance and efficiency in an extremely compact package, enabling high data rates with low power consumption

for next generation wireless devices. Specifically designed for TDD 2G/3G/4G micro and macro-cell base stations, the SKY1224x suite offers excellent low transmit/receive insertion loss as well as high transmit to receive isolation, facilitating optimal system performance. A single 5 V DC supply also simplifies design and implementation.

■ Skyworks Solutions, Inc.  
www.skyworksinc.com

### Band 3 Uplink/Downlink BAW Duplexer Offers Exceptional PIM

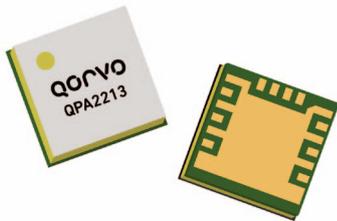
RFMW, Ltd. announced design and sales support for a Band 3 BAW duplexer filter. The Qorvo QPQ1297 supports Band 3 LTE, small cells, mobile routers and repeater designs with uplink pass band frequencies from 1710 to 1785 MHz and downlink pass band frequencies from 1805 to 1880 MHz. Passive Inter-modulation (PIM) is becoming a critical parameter for small cell



duplexers and the QPQ1297 addresses this issue with BAW technology, yielding almost 30 dB better performance than comparable SAW technologies. No external matching is necessary with this single-ended design which offers low insertion loss and up to 53 dB isolation between bands. Housed in a compact, 2 x 2.5 mm SMT package.

■ *RFMW, Ltd.*  
www.rfmw.com

### GaN Driver Amplifier Offers 2 W to 20 GHz



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a high-performance, wideband, driver amplifier. Qorvo's QPA2213, GaN on SiC amplifier provides >2 Ws  $P_{sat}$  across a bandwidth of 2 to 20 GHz. Designed to support applications in EW, Radar, commercial and military communication systems, and test equipment, the QPA2213 has a small signal gain of 22...25 dB with a large signal gain of 16 dB. Matched to 50 ohms, it offers flexible DC bias conditions to optimize power output versus power added efficiency (PAE). Offered in a small, 4.5 x 4.5 mm, air-cavity package.

■ *RFMW, Ltd.*  
www.rfmw.com

### Flight-Ready High-Power Switch

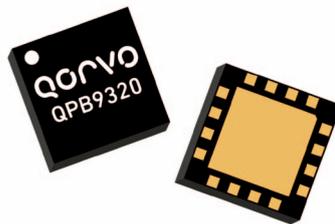
RFMW, Ltd. announced design and sales support for a high-power, high-isolation RF switch from Aethercomm. The SSHPS 1.0-2.5-200, Single-Pole, Double-Throw (SPDT) switch handles up to 200 W of CW RF power from 1 to 2.5 GHz for communication and Electronic Warfare systems. With typical isolation of 50 dB and 2  $\mu$ s maximum switching speed, the SSHPS 1.0-2.5-200 draws 500 mA from a 28 V dc supply. Operating from -30 to +70 °C up to 15 feet altitude, this switch meets MIL-STD shock



and vibration specifications under operating conditions.

■ *RFMW, Ltd.*  
www.rfmw.com

### High-Power Switch/LNA Targets TDD Base Stations



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a high power frontend module. Qorvo's QPB9320 integrates a two-stage LNA and a high power switch that provides power handling up to 52 W of average power. Supporting applications across a frequency range of 1850 to 2025 MHz, this FEM provides 1.1 dB noise figure for operation in the receive mode and 0.5 dB insertion loss in the transmit path. Only a 5 V supply with 3.3 V logic control is required for operation. The QPB9320 module is targeted for wireless infrastructure applications configured for TDD-based architectures using an isolator. Packaged in a RoHS-compliant, compact 8 x 8 mm surface-mount leadless package.

■ *RFMW, Ltd.*  
www.rfmw.com

### New Power Dividers & Couplers



Meca Electronics' latest expanded product offering, ML series power dividers and couplers designed to meet applicable portions of MIL-DTL-23971, MIL-DTL-15370 and MIL-STD-202, Method 107G. These models are designed for precision electrical performance, high reliability and intended for use

### Low-Power Wide-Area Network for Industrial IoT

Radiocrafts AS, a leading provider of RF modules and wireless connectivity solutions, announced today a new family of RF modules that creates a complete LPWAN (Low Power Wide Area Network) optimized for Industrial IoT applications. The radio protocol use IEEE 802.15.4 g/e providing bi-directional communications with short transmission pulses that enables dense networks with high reliability and very low power. A complete RIIoT network includes sensor nodes based on the RC1880-SPR module, a gateway based on the RC1880-GPR module, and the RIIoT-NET, a Linux software that can run on any commercial gateway that is Linux based and has an SPI or USB interface. The new RIIoT LPWAN solution is low cost, does not require any licence or subscription, and is very low power. A sensor node can run on a 500 mAh coin cell battery for 5 years with updates every few minutes.

Key features of RIIoT:

- 868 or 915 MHz frequency
- Star network topology
- Supporting several hundred nodes in a network
- Very low power consumption, 5-year lifetime
- Universal sensor/actuator ICI interface
- Up to 8 km range, Line of sight, 5 kbps/High Power option
- Use a COTS (Commercial Off The Shelf) Linux gateway for internet access
- Cloud application compatible via JSON objects

■ *Radiocrafts AS*  
sales@radiocrafts.com  
www.radiocrafts.com

in harsh environments from low orbit space & satellite to high altitude defense applications. These models are available with our standard screening process which incorporates a level of thermal screening combined with verification of electrical and mechanical performance features. In addition they are also available with enhanced levels of screening for qualification and verifications as required. To request add the ML prefix to any 80X series power divider or 750, 765 or 780 series couplers.

■ *Meca Electronics, Inc.*  
www.e-meca.com

## High-Power Directional Couplers



RLC Electronics' high-power directional couplers offer accurate coupling (+/-1 dB), low insertion loss (0.1 to 0.35 dB max.) and high directivity (>14 dB at 18 GHz) in a compact package. These couplers are offered with 500...1000 W average power handling up to 18 GHz, as well as 100 W versions up to 40 GHz. The standard units are optimized for 2 octave bandwidths and are available with a choice of coupling values (30, 40 or 50 dB). RLC can utilize SC or 7/16 connectors on the main line, should this be needed to meet customer designs. These units are ideal for sampling forward and reflected power with a negligible effect on the transmission line and very low intermodulation products.

## Variable Coaxial Attenuators



New variable coaxial attenuators offer bandwidths up to 40 GHz for microwave applications where continuous adjustment of signal level is required with low insertion loss and good impedance matching. Unique mechanical packaging with a locking, non-translating shaft allow a compact assembly. The construction of the transmission line and shaped, proprietary lossy material give flat response over a wide range of attenuation. Units are available with locking screwdriver, panel mount or dial knob adjustment options.

■ *RLC Electronics, Inc.*  
[www.rlcelectronics.com](http://www.rlcelectronics.com)

## 5G Ready Millimeter-Wave Products



Meca offers a family of components covering the various proposed bands for 5G and millimeter-wave bands. Featuring power divider and couplers covering 6...40, 10...50 GHz with 2.92 & 2.4 mm interfaces. Available in 2019: 40...50 & 26...65 GHz models. Also available are attenuators, terminations, bias tee's, DC blocks and adapters. Additionally octave & multi-octave models covering MHz to GHz with SMA interfaces, all built by J-Standard certified assemblers & technicians. Made in USA and 36-month warranty.

■ *Meca Electronics, Inc.*  
[www.e-meca.com](http://www.e-meca.com)

## Broadband 6-Way SMA Power Dividers



Meca Electronics' latest new product offering, 6-way compact broadband of power dividers covering 0.5 to 6 GHz (806-2-3.250) encompassing public safety through ISM bands. With typical performance of SWR's of 1.3 & 1.25, isolation 17 dB, insertion loss 2 dB and exceptional amplitude & phase balance of 1.5 dB & 15 degrees max. This is in addition to the family of 2, 4, 8 & 16 way splitters in various connector styles and IP60 & 67/68 ratings. Made in the USA, 36 month warranty.

■ *Meca Electronics, Inc.*  
[www.e-meca.com](http://www.e-meca.com)

## Expanded Line of Coaxial RF Probes



Fairview Microwave Inc. has recently expanded their line of RF coaxial probes into the 40 GHz frequency range for use in high-speed communications, microwave components and networking applications. This expanded line of coaxial RF probes now includes four models that deliver 10 dB maximum return loss over a broad frequency range of DC-40 GHz. These new RF probes are offered in GS and GSG configurations with a pitch of 800 or 1500 microns and a 2.92mm interface; they are gold-plated and feature compliant pogo pin contacts that allow for a wide range of probing angles. These coaxial probes can be used by hand, with or without a probe positioner, and can be cable mounted or mounted with Fairview's multi-axis probe positioner. These coaxial RF probes are ideal for signal integrity measurement, coplanar waveguide, chip evaluation, substrate characterization, Gigabit SERDES and test fixture applications.

■ *Fairview Microwave, Inc.*  
[www.fairviewmicrowave.com](http://www.fairviewmicrowave.com)

## Low-Current Power Doubler Supports CATV



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a low current hybrid amplifier. Qorvo's CATV power doubler model QPA3223 reduces system DC current requirements as it draws only 410 mA from a 24 V supply. However, performance remains high due to the combination of GaAs pHEMT and GaN pHEMT die providing 21 dB minimum gain from 45 to 1003 MHz (23 dB typical @ 1003 MHz). Return loss is >17 dB for

## Skyworks News

### Advanced 5G Infrastructure Solutions

Skyworks announced that it is ramping 5G small cell and massive MIMO (multiple-input, multiple-output) solutions that significantly enhance network efficiency, delivering higher capacity with greater coverage. Small cells are low-power, easy-to-implement radio access points that operate in both licensed and unlicensed spectrums with a typical range of 10 to several hundred meters. Mobile operators are utilizing a scalable grid of small cells to facilitate powerful, high-speed connectivity in support of data intensive and quickly emerging 5G applications. Skyworks' portfolio creates viable new options for cellular and wireless providers to cost-effectively address mounting system requirements.

According to Research and Markets, the total value of the small cell market is expected to grow from \$13 billion in 2017 to more than \$58 billion by 2024.

Skyworks' engines deliver the superior performance required for 5G, providing greater overall system efficiency and wide instantaneous bandwidth capability. The company's complete 5G base station portfolio encompasses small cell amplifiers, circulators, high performance low noise

amplifiers and high-isolation switches. Select products include:

- SKY67150-396LF – 300-2200 MHz ultra low-noise amplifier
- SKY66313-11 – 3.4-3.6 GHz wide instantaneous bandwidth high efficiency power amplifier
- SKYFR-001705 – 4400-5000 MHz single-junction robust lead circulator
- SKY13372-467LF – 0.1-6.0 GHz high-isolation SPDT absorptive switch

### LoRa-based Solutions for High Growth IoT Applications

Skyworks Solutions, Inc. announced that Semtech is leveraging its newest suite of low-power, wide-area network (LPWAN) products. Specifically, Semtech is integrating Skyworks' advanced front-end solutions with their next generation LoRa devices and wireless radio frequency technology (LoRa Technology) for picocell gateways. Skyworks' industry-leading modules quadruple the operating range, supply maximum power and improve sensitivity versus alternative architectures – all in a compact form factor.

LoRa is quickly emerging as a leading wireless standard for IoT across energy management, smart agriculture, industrial

automation, security, the connected home and more. According to industry estimates, the global LPWAN market is expected to grow from \$1 billion in 2016 to more than \$24 billion by 2021, a compounded annual growth rate of 89%. In addition, IDATE projects that LPWAN unit shipments will more than triple from 109 million in 2017 to 339 million by 2025.

### New Infrastructure Amplifiers

Skyworks introduced a CATV solution, the ACA1240, a 1.2 GHz variable gain CCAP/edge QAM driver amplifier specifically designed for headend and remote PHY applications. The ACA1240 features industry-leading return loss over attenuation range minimizing passband ripple, thus enabling optimal filter performance. In addition, this amplifier offers superior output power and gain performance, as well as unparalleled linearity to meet critical downstream RF specifications (DRFI) at a higher power level. Skyworks is facilitating the delivery of high speed data channels and content to subscribers around the world through advanced architectures that combine world-class performance with industry-leading reliability.

■ Skyworks Solutions, Inc.  
[www.skyworksin.com](http://www.skyworksin.com)

faster design times. The QPA3223 provides excellent linearity and extremely low distortion for demanding CATV applications. Offered in a SOT-115J package.

■ RFMW, Ltd.  
[www.rfmw.com](http://www.rfmw.com)

### Wideband Silicon LNA offers Flat Gain

RFMW, Ltd. announced design and sales support for a high-gain, broadband RF amplifier. The Integrated Device Technology, Inc. (IDT) model F0424 operates from 600 to 4200 MHz with up to 17.3 dB of gain. Designed to operate with a single 5 or 3.3 V power supply using a nominal 70 mA of ICC, OIP3 measures 40 dBm with a noise figure of 2.3 dB. The combination of low noise figure (NF) and high linearity performance allows the device to be used in both receiver and transmitter applications such as 4G TDD and FDD base stations, repeaters, DAS, point-to-point and public

safety infrastructure. Flat gain amplitude is ideal for military communication systems and performance is consistent from lot-to-lot. The F0424 is packaged in a 2 x 2mm, 8-pin, thin DFN with 50 ohms single-ended RF input and output impedances for ease of integration into the signal-path.

■ RFMW, Ltd.  
[www.rfmw.com](http://www.rfmw.com)



### Complex 8-Channel Coaxial Rotating Joint

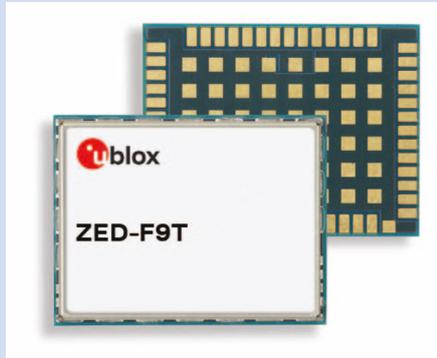


Link Microtek has designed and produced a complex 700 mm long 8-channel coaxial rotating joint for use in an L-band shipborne long-range radar system. Enabling microwave signals to be fed to and from the radar antenna, the rotating joint features six PSR (primary surveillance radar) channels, each with a frequency range around 1400 MHz, and two SSR (secondary surveillance radar) channels covering frequencies between

## Multiband GNSS Timing Receiver for 5G

The ZED-F9T timing module offers nano-second-level timing accuracy and concurrent reception of GNSS signals for global coverage. This module meets even the most stringent timing synchronization requirements in 5G mobile networks on a global scale.

Although previous generation of cellular networks have already been using GNSS time as primary source of synchronization, better synchronization throughout the network will be a key enabler for 5G. The 5G cellular network will require tighter coordination to offer much greater bandwidth and a broader range of services to the user than 4G, supporting sophisticated features such as beam-forming, carrier aggregation, and massive MIMO. The timing module's multiband capability allows it to compensate the ionosphere error from all GNSS satellite constellations and reduce the timing error under clear skies to less than



five nanoseconds without the need for an external GNSS correction service. To further improve accuracy locally, the ZED-F9T features differential timing modes that exchange correction data with other neighboring GNSS timing receivers via a communication network.

Access to all four satellite constellations strengthens the receiver's global coverage

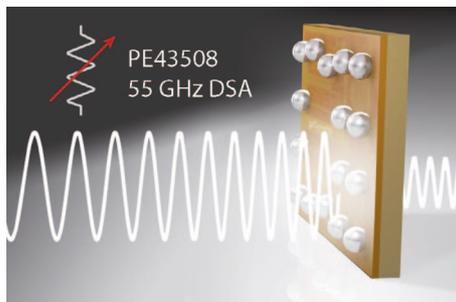
and increases timing availability in challenging signal environments, ultimately delivering more reliable performance. ZED-F9T also includes advanced security features such as secure boot, secure interfaces, and Time-Receiver Autonomous Integrity Monitoring (T-RAIM) to provide highest level timing integrity. Additionally, the ZED-F9T's support for all four GNSS constellations enables developers to design single products to serve global markets, simplifying OEMs' product lines. The module has a single RF input for all the GNSS bands, which simplifies antenna selection. An on-board diplexer, followed by dual SAW filters, provides exceptional signal selectivity and out-of-band attenuation. Offered in a 54-pin land grid array package of just 17 x 22 x 2.4 mm, it is designed for easy integration.

■ *u-blox*  
[www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)

1000 and 1100 MHz. The design also had to achieve key performance specifications such as a SWR of less than 1.3, maximum insertion loss of 1 dB, maximum insertion loss WOW of 0.1 dB and phase variation WOW of +/-2 degrees. WOW figures are absolutely critical on a radar system. They show how the performance varies as the device rotates. In addition there were the stringent environmental considerations that are typical for shipborne applications, including the ability to withstand salt spray, vibration and temperatures ranging from -25 to +70 °C.

■ *Link Microtek, Ltd.*  
[www.linkmicrotek.com](http://www.linkmicrotek.com)

### Broad-Bandwidth DSA Hits 55 GHz



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a broad bandwidth digital step attenuator (DSA). The pSemi PE43508 offers 6-bit control with 0.5 dB LSB step accuracy for 31.5 dB attenuation range from 9 kHz to 55 GHz. Ideal for test and mea-

surement, point-to-point communication systems, and very small aperture terminals (VSAT), the PE43508 features glitch-safe attenuation state transitions to protect circuits. An integrated digital control interface supports both serial addressable and parallel attenuation programming. Offered as flip-chip die, this DSA is manufactured on a variation of silicon-on-insulator (SOI) technology and requires no external blocking capacitors if 0 VDC is present on the RF ports.

■ *RFMW, Ltd.* [www.rfmw.com](http://www.rfmw.com)

### GaN Epiwafer Production

EpiGaN, a European supplier of Gallium Nitride (GaN) technology solutions for telecom, power electronics, and sensor applications, has chosen an Aixtron G5+C tool to meet growing demand from their global customer base. The company has selected Aixtron's G5+C MOCVD system to boost its manufacturing capability of large-diameter GaN-on-Si and GaN-on-SiC epiwafers. The new AIX G5+C reactor will be installed at EpiGaN's manufacturing site in Hasselt/Belgium and operational in Q1/2019. The fully automated Planetary MOCVD system features in-situ chamber cleaning and enables configurations of 8 x 6 or 5 x 8 inch epitaxial wafers to be automatically loaded and removed from the system in an enclosed cassette environment. Just recently EpiGaN has released large-diameter versions of its HVRF (High Voltage Radio Frequency)

GaN-on-Si, as well as GaN-on-SiC wafer product families tailored to demanding 5G applications needs. With the new AIX G5+ MOCVD system EpiGaN expects to quickly scale up and spread out its differentiating technology solutions to the global market.

■ *EpiGaN*  
[www.epigan.com](http://www.epigan.com)

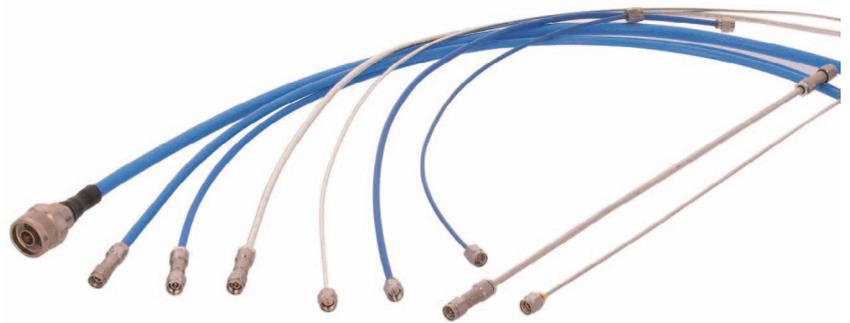
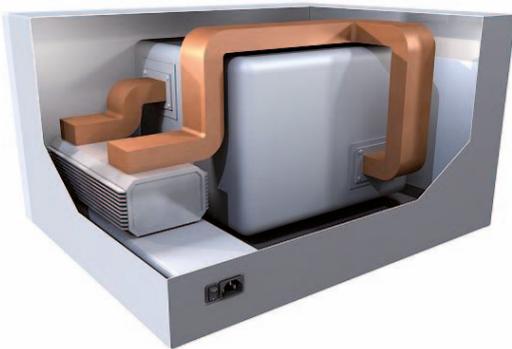
### Broadband Switch Handles High Power



RFMW, Ltd. announced design and sales support for a high power, high isolation, symmetrical, SPDT switch from Aethercomm. The SSHPS 2.5-6.0-150 handles up to 150 W of CW RF power from 2.5 to 6 GHz for military and commercial communication systems. Midband insertion loss is typically <1 dB while typical isolation is 53 dB. Maximum current draw from a 28 V dc supply is 300 mA. The SSHPS 2.5-6.0-150 offers 5 μs switching speed and is rated for temperature, altitude and shock under MIL-STD operating conditions.

■ *RFMW, Ltd.* [www.rfmw.com](http://www.rfmw.com)

# Innovations in Connectivity and RF Energy



Alongside the recently launched CT assemblies, Huber+Suhner demonstrated its future-proof solutions for automotive, energy and semi-conductor testing applications. Designed for phase critical applications requiring ultimate precision and reliability, the company's new product line of Consistent Over Temperature (CT) phase invariant cable assemblies provide industry leading performance across a number of key factors. With optimum stability over harsh temperatures, minimal phase and insertion loss, return loss and shielding effectiveness as well as simple and efficient installation, the CT assemblies are essential for applications where communication cannot be compromised, such as drones, military vehicles, and test and measurement scenarios. CT variants are available of the tried and tested Sucoform, EZ, Minibend, and Multiflex product families.

Featuring high-quality electrical performance, the company's first automotive board-to-board connector – SynaPad – acts as a single, solderless piece which is easy to assemble and enables direct to board connection. The connector also has the ability to compensate axial and radial misalignments which are key for reducing mechanical stress during temperature changes and vibration. With autonomous vehicles in mind, the company also offers injection moulded radar antennas to suit the latest radar systems being developed in the industry today. Utilising radiator geometries, three-dimensional signal distribution networks, radar systems using technology from Huber+Suhner provide higher resolution images, can measure large distances and detect obstacles even in harsh weather conditions.

Designed for the required high-power levels in peak demand applications, the RFEX connector – an industry-first connector dedicated to solid-state RF energy applications – is a key component for commercialising solid-state RF energy and thus achieving con-

trollability in the respective applications. The highly cost-efficient solution provides customers with a reliable, long-term solution for overcoming today's limitations in cooking, warming and heating,

Ultra-precise and highly-reproducible, the MXPM70 offers best-in-class signal integrity, magnetic locking mechanism, automatic interface protection and a cost-efficient PCD socket. On display alongside the MXPM70, the full range of multi-coax connectors, including the MXPM and MXP lines will be showcased. Highly-flexible and ultra-stable as standard, the MXPM and MXP lines are essential for bench-top testing, system testing as well as for internal cabling in automated testing equipment.

Supporting charging times below 15 minutes (up to an 80% state of charge), the RADOX HPC High Power Charging system will also be on display. It guarantees quick, convenient and safe charging of electric vehicles. Offering a smaller cable cross section than others on the market today, the Radox HPC is available with Combined Charging System (CCS) type-1 (USA and Canada specific) and type-2 connectors (Europe compatible).

■ *Huber+Suhner*  
[www.hubersuhner.com](http://www.hubersuhner.com)

## New 6-channel micro-mechanical switch



Now available from Link Microtek is a high-power 6-channel SPST micro-mechanical switch that has been designed to deliver more than 3 billion switching cycles at ele-

vated +85 °C temperatures for RF, microwave and DC applications in the defence, aerospace, scientific, medical, industrial and telecoms sectors.

Manufactured by Menlo Microsystems Inc., the MM3100 has an operating frequency range from DC to greater than 3GHz, with each of its six switches capable of handling up to 25W RF power (CW) at 3GHz. The device features DC ratings of +/-150V and 1A for each switch with on resistance <0.75 ohm. Channels can be combined to increase DC ratings.

On/off switching time is less than 10 microseconds, channel-to-channel isolation is specified as 25dB at 3GHz, and an ultra-low on-state insertion loss of typically 0.3dB at 3GHz helps to enhance overall system performance and maintain high data rates.

The switches are individually controlled by a standard Serial Peripheral Interface (SPI) synchronous bus, while an external +5V<sub>DC</sub> logic supply and +77V<sub>DC</sub> bias source are required for operation of the internal switch driver.

The MM3100 is highly configurable, which allows it to be used in a wide variety of different application circuits, including tunable resonators and filters, impedance matching for broadband power amplifiers, electronically steerable antennas and phase shifters, and automated test and measurement systems.

Fabricated using Menlo Micro's proprietary metal-on-glass DMS (Digital Micro-Switch) process technology, this robust device is housed in a hermetic 6.0 x 6.0 x 1.3mm BGA package and has an operating temperature range of -40 to +85 °C. A test and evaluation board kit, MM3100-EVK, is available complete with a USB interface cable to provide the necessary bias voltage and SPI bus data.

■ *Link Microtek, Ltd.*  
[www.linkmicrotek.com](http://www.linkmicrotek.com)

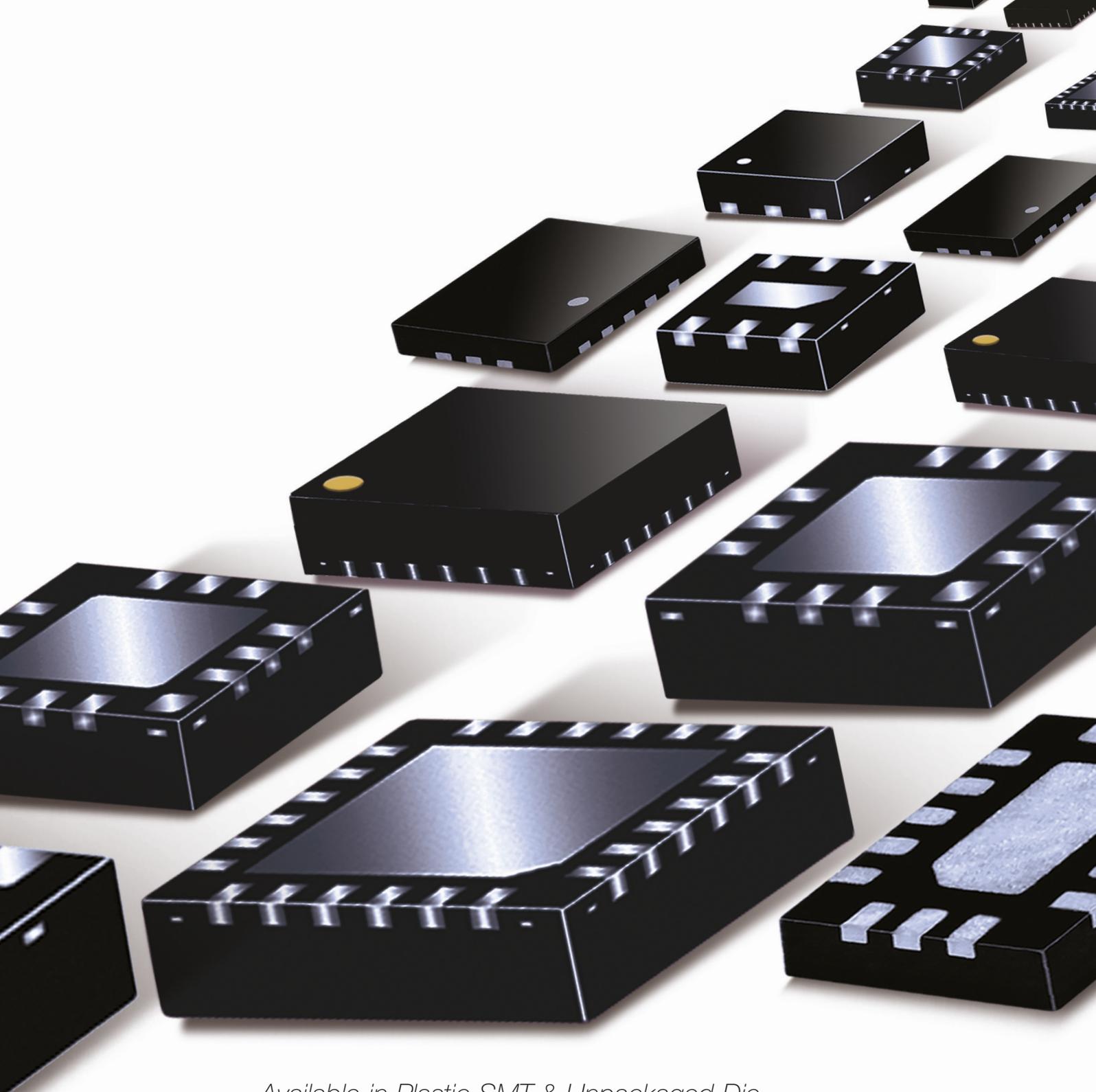
*MILLIMETER WAVE*  
**MMIC**  
*PRODUCTS*

**MULTI-OCTAVE BANDWIDTHS**  
**UP TO 43.5 GHz**

*Attenuators / Couplers / Mixers*  
*Multipliers / Reflectionless Filters / Splitter/Combiners*



Now over 60 MMIC models *In Stock*  
covering applications above 26 GHz



*Available in Plastic SMT & Unpackaged Die*



[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 [sales@minicircuits.com](mailto:sales@minicircuits.com) 598 Rev Orig\_P

DISTRIBUTORS

**IE INDUSTRIAL ELECTRONICS GMBH**

D-65719 Hofheim-Wallau, Germany  
Tel. +49-6122-72660-0 Fax +49-6122-72660-29  
[www.ie4u.de](http://www.ie4u.de)  
[anfrage@ie4u.de](mailto: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](mailto:info@municom.de) [www.municom.de](http://www.municom.de)

## AR Launches New Corporate Landing Page In Conjunction With Its 50th Anniversary #AR50YearsStrong



In conjunction with their 50th Anniversary, AR has unveiled a new corporate landing page.

The page highlights the four divisions that make up the AR family of companies – AR RF/

Microwave Instrumentation, AR Modular RF, SunAR RF Motion, AR Europe – and serves as a launching page to each of the four companies.

AR RF/Microwave Instrumentation is the world-class source for Broadband High Power, Solid State, RF Amplifiers and Microwave Amplifiers; TWT Amplifiers; Log Periodic Antennas and High-Gain Horn Antennas; and EMC Test Equipment.

AR Modular RF is a global leader in Broadband, Sub-Band and discrete frequency non-EMC RF amplifiers and amplifier systems. Its products are used in military communications, electronic warfare, homeland security, high-tech medical equipment, and more.

SunAR RF Motion, formerly known as Sunol Sciences Corporation, has earned a reputation as a high-quality manufacturer of Positioning Equipment and Antennas for EMC and Wireless Testing.

■ AR Deutschland GmbH  
[www.ar-deutschland.com](http://www.ar-deutschland.com)

### New AR-50SE Improves Communication Across The 30-88 MHz Band



AR Modular RF has released a new tactical booster amplifier that extends the range of communications in the 30-88 MHz frequency band. The Model AR-50SE is a fully automatic band-switching RF booster amplifier for multi-band Tactical Radio equipment employing legacy, proprietary and emerging waveforms. The amplifier which is a sub-banded version of our JITC

certified AR-50 multi-band product covers the frequency band of 30-88 MHz using high speed auto switching filters to assure harmonic suppression and is SINGARS compatible.

This portable, rugged, 50-watt booster amplifier complies to Military Standards 461E and 1275. It requires no tuning, switching or adjustment. Automatic band-switching occurs, and three harmonic filter bands cover the 30-88 MHz band for acceptable harmonic distortion levels anywhere within the band.

Amplifier performance, including T/R switching, is fully automatic. Protection is provi-

ded against overheating, excessive VSWR, high-level RF input power and inadvertent DC polarity reversal. The unit does not shut down or bypass when presented with a high VSWR condition, which is often found on multiband antennas in the 30 to 88 MHz band. The amplifier will be bypassed automatically in case of a system failure, or loss of DC power, or when the input signal frequency is out of range. The amplifier includes RF sensing, T/R switching, Automatic Level Control (ALC), and DC power transient protection.

■ AR Deutschland GmbH  
[www.ar-deutschland.com](http://www.ar-deutschland.com)

## 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:**

Dipl.-Ing. Reinhard Birschel  
Ing. Frank Sichla (FS)  
redaktion@beam-verlag.de

• **Anzeigen:**

Myrjam Weide  
Tel.: +49-6421/9614-16  
m.weide@beam-verlag.de

• **Erscheinungsweise:**  
monatlich

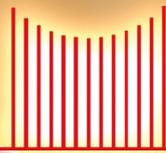
• **Satz und Reproduktionen:**  
beam-Verlag

• **Druck & Auslieferung:**  
Brühlsche  
Universitätsdruckerei

Der beam-Verlag übernimmt trotz sorgsamer Prüfung der Texte durch die Redaktion keine Haftung für deren inhaltliche Richtigkeit.

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.



**Spectrum**  
Elektrotechnik GmbH

wenn Qualität benötigt wird



**Wir entwickeln und fertigen Steckverbinder, genau für fast jeden Anwendungsfall, neben den vielen Standardverbindungs-elementen, die wir normalerweise ab Lager liefern. Produkte, made in Germany.**

**80905 München**

**Telefon: 089-3548-040**

**WWW.SPECTRUM-ET.COM**

**Postfach 450533**

**Fax: 089-3548-0490**

**Email: Sales@spectrum-et.com**

# THE PERFORMANCE LEADER IN MICROWAVE CONNECTORS

**SOUTHWEST  
MICROWAVE**



18 GHz

**Keyed  
Connectors**



27 GHz

**SuperSMA  
Connectors**



40 GHz

**2.92 mm (K)  
Connectors**



50 GHz

**2.40 mm  
Connectors**



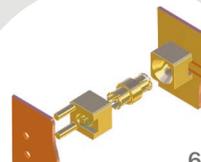
67 GHz

**1.85 mm (V)  
Connectors**



67 GHz

**0.9 mm SuperMini  
Connectors**



67 GHz

**SuperMini  
Board-to-Board  
Connectors**



up to 67 GHz

**SSBP MultiPort  
Cable Harnesses**



110 GHz

**1.0 mm (W)  
Connectors**



up to 110 GHz

**Board Mount  
Connectors**



up to 110 GHz

**Precision  
Adapters**

- **Lowest VSWR and Insertion Loss**
- **Excellent Repeatability**
- **Rugged and Durable**
- **Field Replaceable / Serviceable**

- **Transmission Line Design Approach**
- **Space / Hi-Rel Qualified**
- **Materials Traceability and Lot Control**



Weitere Informationen erhalten Sie über →

**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

**GLOBES  
ELEKTRONIK**



**hf-welt@globes.de**  
**www.globes.de**