

2020年1/2月

Microwave
Journal China
微波杂志

**5G 和
物联网**

工业4.0



Founded in 1958

mwjournalchina.com



Compound Semiconductor Solutions from RF to Lightwave

WIN Design Platform

- Device Cell
- Sub-&Logic-circuit
- Passive, ESD Circuit
- mmWave Package
- Customized Supported

5G@ mmWave

- pHEMT : PE15/PIH1

5G@ Sub-6GHz / Wi-Fi

- HBT : H02U
- pHEMT : PD50/PH50

Satellite

- pHEMT : P10/15/25/PIH1/
PD25/PD50
- GaN : NP25/15

Infrastructure

- GaN : NP45/25/15
- pHEMT : PD25
- HBT : H02U

Fiber Optics

- pHEMT : PP10/15/
PIH1/PD25

Radar/ Aerospace

- pHEMT : PP10/15/25/
PIH1/PD25/50
- GaN : NP25/15

WIN Semiconductors Corp.

No.69, Keji 7th Rd., HWA YA Technology Park,
Guishan Dist., Taoyuan City 333, Taiwan (R.O.C.)
TEL: +886-3-397-5999 FAX: +886-3-397-5069

www.winfoundry.com
info@winfoundry.com

业界领先 SiC基GaN & LDMOS 产品组合

为高可靠性雷达系统提供更高性能

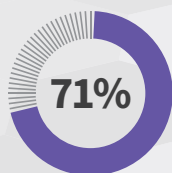


重点推出新型 GaN L-BAND产品



GTVA12350

350 W

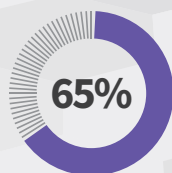


漏极效率



GTVA12600

600 W

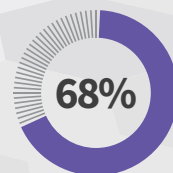


漏极效率



GTVA101K4

1400 W



漏极效率

了解更多信息, 敬请访问
wolfspeed.com/LBand



2020年5月12-13日 国家会议中心

与工程师面对面

展示您的产品

遇见新客户

立刻预订展位
成为100家参展商的一员!



Electronic Design Innovation Conference
电子设计创新大会

www.mwjjournalchina.com/edicon



www.mwjjournalchina.com

1/2月 Jan/Feb 2020

目录 1 Contents 1



06 编辑手记 Editor's Note

5G 的分水岭时刻

Watershed Moment for 5G

Pat Hindle, 《Microwave Journal》总编

08 封面专题 Cover Feature

基于 5G NR 的工业物联网

Industrial IoT Networks Powered by 5G New Radio

Amitava Ghosh, Rapeepat Ratasuk and Anil M. Rao, Nokia Bell Labs

技术特写 Technical Feature

16 覆盖70kHz至220GHz的集成矢量网络分析仪的设计

Design of an Integrated VNA Covering 70 kHz to 220 GHz

Jon Martens, Tom Roberts, 安立公司;

Andrej Rumiantzev, Koocho Jung, MPI公司

23 5G宽带高精度幅相控制测试系统

Wideband, High-Resolution Phase-Amplitude Control Test System for 5G

刘伟, 伟博电讯

30 采用积木式模块开发超宽带机载探雪雷达

Prototyping an UWB Airborne Radar for Snow Probing Using Modular Building Blocks

F. Rodriguez-Morales等

应用笔记 Application Note

38 S参数测量中的不确定度表征

Characterizing Measurement Uncertainty in S-parameter Measurements

Tekamul Buber, Pragti Narang, Giampiero Esposito and Sathya Padmanabhan, Maury Microwave

46 减少航空航天和国防系统中微波电缆组件的EMI/RFI

Reducing EMI/RFI in Microwave Cable Assemblies for A&D Systems

Paul Pino, 戈尔公司 (W. L. Gore & Associates)

解决天线复杂性

天线调谐

杰出的调谐解决方案供应商

孔径调谐

提高天线的总体效率



Qorvo 孔径调谐解决方案采用高性能分立式开关和可调谐电容，天线效率极高

阻抗调谐

减少失配损耗



将阻抗调谐器与数个可调谐电容以及开关组件相集成，阻抗范围宽广

天线选择

实现先进的天线架构

Qorvo 的低损耗开关产品组合将 RF 信号路由至天线，在各用例中都能提供最佳性能

自由空间



手持式



有关更多信息，请访问 qorvo.com/acs

© Qorvo US, Inc. | 2019 年 9 月。QORVO and ALL AROUND YOU 是 Qorvo US, Inc. 在美国和其他国家/地区的注册商标。

QORVO
all around you

注册已经开始了



2020

Electronic Design Innovation Conference
电子设计创新大会

2020年5月12-13日
国家会议中心, 北京, 中国

访问

www.mwjjournalchina.com/edicon

注册参会

- ▶ 5G/先进通信
- ▶ 毫米波技术
- ▶ 放大器设计
- ▶ 电磁兼容/电磁干扰
- ▶ 低功耗射频和物联网
- ▶ 前端设计
- ▶ 电源完整性
- ▶ 雷达和国防
- ▶ 射频和微波设计
- ▶ 信号完整性
- ▶ 仿真和建模
- ▶ 测试和测量

Microwave Journal China 微波杂志

www.mwjjournalchina.com

1/2月 Jan/Feb 2020

目录 2 Contents 2



特色产品 Product Feature

- 50 相位相干切换超低相噪多通道信号源
Ultra-Low Phase Noise, Multi-Channel Source with Phase Coherent Switching
AnaPico Ltd.
- 52 创新的波导连接器简化了毫米波封装
Innovative Waveguide Connector Simplifies mmWave Packages
SAGE Millimeter
- 54 5G一体式测试解决方案
One Box Test Solutions for 5G
罗德与施瓦茨

技术简讯 Tech Brief

- 56 高可靠性限幅器保护敏感的RF接收器
Hi-Rel Limiters Protect Sensitive RF Receivers
Fairview Microwave
- 56 低成本6GHz矢量信号发生器
Low Cost 6 GHz Vector Signal Generator
Signal Hound

新产品 New Products

- 59 展会报道 Exhibition Reports
- 60 广告索引 Advertisement Index

Microwave Journal China
微波杂志

免费下载白皮书



探索可能性, 迈向5G之路

- 5G: RF的未来。
- 氮化镓(GaN): 实现5G的关键技术。
- GaN: 不再只是国防领域。
- 小基站助力5G连接。
- 利用GaN技术实现5G移动通信: 为成功奠定坚实基础。

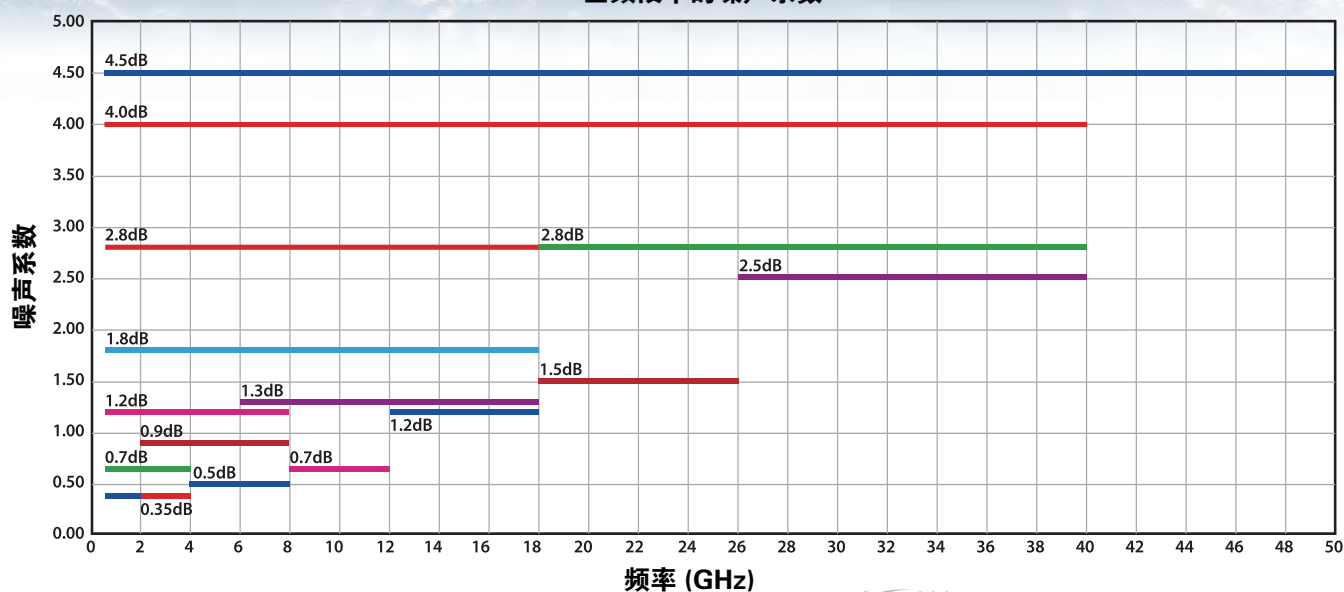
www.mwjjournalchina.com/white_paper.asp



放大器性能不够或交付不及时阻碍过您的项目吗？



一些频段中的噪声系数



5G的分水岭时刻

Watershed Moment for 5G

Pat Hindle, 《Microwave Journal》总编

根据全球移动供应商协会（GSA）的数据，2019年11月1日是5G的关键时刻，因为它标志着第50个商用5G网络的部署和正式启动。这一天中国联通、中国移动和中国电信都正式上线了中国的5G服务。此外，中国移动表示已经拥有了超过1000万的5G注册用户。

GSA报告称，截至2019年12月中旬，有342家运营商投资了5G网络，其中31个国家的56家运营商已推出了兼容3GPP标准的5G商业服务。GSA还报告说，有75家运营商宣布已在其网络中部署了符合3GPP要求的5G技术。

11月，Mobile World在一次直播中称，GSMA Intelligence的研究主管Tim Hatt称赞中国此举是该行业的“分水岭”：“到2025年，中国的5G用户将占移动用户总数的36%。它庞大的人口基数意味着这个比例折合为6亿用户，约占当时全球5G用户的40%。预计这将为中国的手机制造商、芯片制造商、网络设备供应商和内容生产商等提供强大支持，从而减少对外国公司的依赖。”

Hatt还指出，5G部署将对中国的全球雄心产生影响。他说：“5G是包括人工智能、机器学习和边缘计算在内的更广泛的先进技术的一部分，这些技术已成为向数字经济转型的战略性杠杆，无论是基于制造还是服务的数字经济。中国坚定地宣称要在未来十年内处于这一转变的最前沿。”

根据《华盛顿邮报》的报道，中国政府已着手推动一项中央计划，以商业方式推广该技术，并使其在全球安装5G无线网络的竞赛中处于领先地位。中国联通总裁王晓初表示：“5G正式商用是落实习近平总书记网络强国战略部署的又一重大举措，是我国信息通信业发展历程的又一里程碑。”

根据中国信息与通信技术研究院的研究报告，预计2020年至2025年，中国在5G方面的总支出将在1300亿美元至2170亿美元之间。Gartner预测，到2020年，全球5G无线网络基础设施收入将达到42亿美元，比2019年的22亿美元增长89%。

由于5G比4G LTE能够在单位面积上实现更多连接，因此许多新应用将成为物联网（IoT）的一部分，尤其是在工业和政府领域。LTE Advanced和5G的功能包括许多赋能技术，这些技术将刺激工业物联网、智慧城市和互联汽车领域的增长，正如本期封面文章所述。这些应该是2020年非常活跃的增长领域。

因此，尽管中国在2019年大部分时间里部署5G技术的步伐似乎很慢，但在11月的一天中，他们在5G连接方面就赶上了世界的大部分地区。随着农历新年的临近，关注5G部署和由更宽带宽、更低延迟的连接产生的新应用，以及了解各个国家如何实施新技术将很有趣。



主 编: Patrick Hindle

Administration 行政管理

Publisher (US): Carl Sheffres

Editor (US): Patrick Hindle

Technical Editor (US): Gary Lerude

Managing Editor (China): Winson Xing (邢文胜)

Managing Editor (US): Jennifer DiMarco

Multimedia Staff Editors: Barbara Walsh

Traffic Manager (US): Edward Kiessling

Lead Designer & Production Coordinator (US):

Janice Levenson

Corporate Staff

CEO: William M. Bazzzy

President: Ivar Bazzzy

Vice President: Jared Bazzzy

China Offices (中国办事处)

Hong Kong (香港)



ACT International (雅时国际通讯)

香港九龙长沙湾青山道478号百欣大厦13楼B室

Unit B, 13/F, Por Yen Building, No.478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan, Kowloon, HK

President 总裁

Adonis Mak (麦协林) adonisM@actintl.com.hk

Vice President 副总裁

Mark Mak (麦协和) markM@actintl.com.hk

Editorial Board (编委会)

Deng Jie 邓杰

Feng Keming 冯克明

Gao Jianfeng 高剑锋

Jin Zhi 金智

Liang Guochun 梁国春

Liu Guangyi 刘光毅

Liu Wei 刘伟

Song Junde 宋俊德

Wang Zhancang 王占仓

Wu Ke 吴克

Mainland China (中国大陆)

Shenzhen (深圳)

中国广东省深圳市福田区彩田路彩虹新都海鹰大厦22D

Unit 22D, Caihongxindu Haiying Building,

Caitian Road, Futian CBD, Shenzhen

518033, China.

Tel: 86-755-2598 8571

General Manager 总经理

Michael Tsui (徐旭升) michaelT@actintl.com.hk

Shanghai (上海)

Tel: 86-21-6251 1200

China Sales Director 中国区销售总监

Linda Li (李承珍) lindaL@actintl.com.hk

Sales Manager 销售经理

Hatter Yao (姚丽莹) hatterY@actintl.com.hk

Beijing (北京)

Tel: 86-135 5262 1310

Sales Manager 销售经理

Cecily Bian (边团芳) cecilyB@actintl.com.hk

Wuhan (武汉)

Sales Manager 销售经理

Sky Chen (陈燕) skyC@actintl.com.hk

Tel: 86-137 2373 9991

Executive Editorial Office

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

Tel: (781) 769-9750

Fax: (781) 769-5037

e-mail: mwj@mwjournal.com



L-com加固型连接解决方案

无论何时何地，我们守护
您的网络稳定在线



一件起发，当天发货

L-com工业级连接解决方案 应对最恶劣环境挑战



在线下单：L-com.cn

免费热线：400 928 1233

邮箱：CNWebSales@L-com.com

官方微信：



在工业环境和军用级别通信系统中，存在着极端温度、灰尘、湿气、腐蚀性化学品、剧烈振动等环境因素挑战，因此必须使用能够承受这类环境的加固型线缆和互连器件。

作为工业连接行业的领导者，L-com始终致力于为客户提供足以应对最恶劣应用环境的解决方案，并以卓越的客户服务和专业的技术支持，第一时间响应任何有线和无线连接需求，无论何时何地，守护您的网络稳定在线。

L-com加固型连接产品系列均为库存现货，支持当天发货。

L-com[™]
an INFINITE[®] brand

基于5G NR的工业物联网

Industrial IoT Networks Powered by 5G New Radio

Amitava Ghosh, Rapeepat Ratasuk and Anil M. Rao

Nokia Bell Labs, 美国伊利诺伊州内珀维尔

由工业物联网 (IIoT) 引发的第四次工业革命 (工业4.0) 将通过新型数字服务提供商市场实现可观的收入增长。IIoT革命的主要技术推动力将包括: 1) 无需线缆并支持时间同步操作的5G无线融合自动化协议, 2) 用于实现安全且可扩展本地计算的私有边缘云, 3) 应用于IIoT网络的深度切片, 可实现用一个基础架构支持多方, 4) 支持机器学习 (ML) 的自动化操作, 用以监控、预测并优化IIoT网络。此外, IIoT网络在连接性和设备数量方面均可扩展, 并借助LTE和5G NR的关键特性如URLLC、mMTC、5G定位、TSC及一定程度的eMBB, 为所有工业应用提供最佳性能。

本文中, 我们将首先阐述IIoT的概要、用例和要求。其次我们将探讨URLLC (超可靠低时延通信) 在NR (新空口) 中的应用基础, 这点在3GPP Rel-15中有涉及, 主要目的是为了支持IIoT。然后我们会介绍Rel-16中IIoT的几个相关功能, 例如URLLC增强、NR定位和TSC (时间敏感通信), 还有计划将在Rel-17中推出的NR变体版本NR-Light。NR-Light旨在解决NR eMBB (增强型移动宽带)、URLLC或mMTC (海量机器通信) 无法满足的用例。最后, 我们将借助5G NR的关键功能URLLC和TSC来展示一家仿真室内工厂的系统性能。

由5G网络支持的IIoT将为OEM厂商和网络运营商创造新价值, 并实现可观的收入增长。IIoT能基于共享的弹性虚拟可扩展基础架构, 通过工业自动化提高效率。它将由5G NR的关键

功能驱动, 如URLLC、5G定位、TSC以及一定程度的eMBB。IIoT也会采用针对LTE的MTC技术, 也即增强型MTC (eMTC) 和窄带物联网 (NB-IoT)。3GPP Rel-15标准中阐述了URLLC的基础。随着关于前文这些功能的后续3GPP标准 (Rel-16和Rel-17) 的颁布, IIoT网络将得到进一步完善。¹⁻²

IIoT用例及要求

图1展示了具备相应5G技术特性的工业4.0用例。工业4.0两个主要的垂直行业是制造业和运输/物流业。对于未来的工厂而言, 在提高生产率的同时也要注意提高安全性和成本效益; 必须实现流程自动化, 同时最大化生产运行时间以减少业务中断, 从而取得更高的效率、竞争力和投资价值。与此同时, 还需要降低碳排放并节约能源。为了实现上述目标, 会引入产品的大规模个性化、为生产灵活性而实施的基于AI技术的自动检测、监测及分析、以及使供应链可快速重配置的数字价值链平台。未来运输/物流行业的目标是利用现有基础架构来提高吞吐量、消除寄递损耗和运输时延, 并确保IT基础架构和控制系统具有弹性。为此, 运输/物流行业将会大量应用AI控制的自动引导车 (AGV) 来实现最大吞吐量、弹性和安全控制系统, 还有大型仪表, 从而将碳足迹降至最低。

5G NR在eMBB、URLLC和mMTC这三个最主要的应用领域为工业4.0创造了新的价值。表1列举了一家典型工厂厂房在可靠性、时延、数

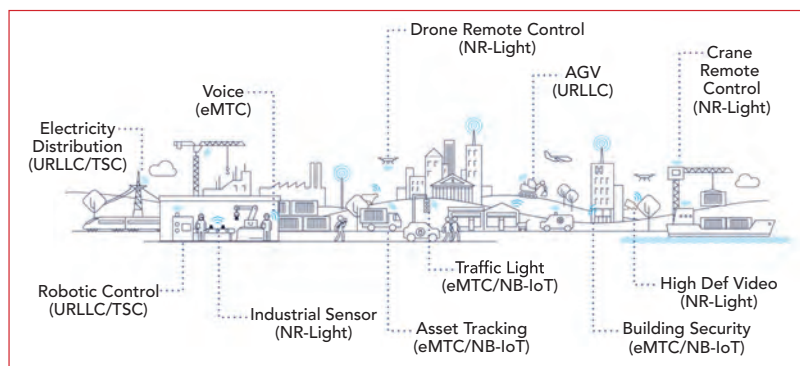


图1: 工业4.0用例及相关5G NR功能。

超低相位噪声和超高功率输出信号源 —R&S®SMA100B

R&S® SMA100B是市面上领先的模拟信号发生器，它产生的信号具有极低的相位噪声和超高的输出功率，同时还具备良好的谐波抑制性能。工程师无需再在输出功率和无杂散动态范围两个指标之间做出取舍。借助R&S®SMA100B，用户可轻松测量被测件的真实性能。

►超宽频率范围：8 kHz-3 / 6 / 12.75 / 20 / 31.8 / 40 / 50 / 67GHz
(其中 67 GHz版本可达 72 GHz)

►极低的相位噪声: -152 dBc/Hz 偏离 10 kHz @ 1 GHz

: -132 dBc/Hz 偏离 10 kHz @10 GHz

► 超高功率输出 : +35 dBm (typ.) @ 6 GHz频率 (6 GHz仪表)

: +30 dBm (typ.) @18 GHz频率 (20 GHz仪表)

: +25 dBm (typ.) @ 35 GHz (40 GHz仪表)

: +19 dBm (typ.) @ 65 GHz (67 GHz仪表)

► 极低谐波 : $< -63 \text{ dBc}$ @高功率输出

► 宽带噪声 : < -162 dBc (typ.) 偏离 30 MHz @10 GHz

► 提供可作为时钟源的第二路输出

► 具有 2 HU 和 3 HU 两种高度规格

罗德与施瓦茨（中国）科技有限公司

www.rohde-schwarz.com.cn

免费客户支持热线

800-810-8228 400-650-5896



更多资讯与互动

请扫码关注官方服务号

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real



据速率和连接密度方面的要求。同时，它还写明了满足用例要求所需的不同5G技术。

诺基亚在其于芬兰奥卢举办的5G“未来工厂”中为我们拉开了工业4.0的序幕。³这一预生产设施采用了诺基亚的专用无线网络和边缘云来实现工厂内外所有资产的安全连接。

URLLC基础

3GPP为URLLC用例制定了两个关键要求⁴：1、目标用户的平均时延为下行0.5ms、上行0.5ms，2、32字节数据包可靠性达99.999%，用户时延为1ms。URLLC同时要求极高的可靠性和极低的时延，非常难满足。不过，如表1所示，许多IIoT用例不需要兼具高可靠和低时延。为此，3GPP Rel-15已经分别指定了两个物理层（PHY）特征组来支持URLLC。

第一组PHY特征用于降低时延，包括：

弹性时隙结构：

- 支持多种副载波间距——NR支持15、30、60、120和240kHz的副载波间距。这就意味着传输时隙长

度分别为1、0.5、0.25、0.125以及0.0625ms。时隙长度短有助于减少时延，因为数据传输过程完成得更快。而其弊端则在于每个时隙能够传输的数据量较少。不过这点不是特别重要，因为URLLC的数据包通常比eMBB等的小。

- 子时隙数据传输——NR允许数据传输占据不到一个时隙（即下行链路2、4、7个符号，上行链路不限）。这样便可以在更短时间内完成传输过程。例如，利用60kHz的子载波间隔和2个符号，每个字节包耗时0.036ms即可发送完毕。
- TDD的自容式时隙结构——NR允许TDD中有一个时隙包含用于数据和混合自动重传请求（HARQ）确认反馈的符号。这减少了TDD中上行链路和下行链路时隙的等待时间。

弹性调度请求：

- 抢占——基站可以抢占正在进行的下行数据传输，将URLLC数据包插入正在传输的数据包中。这是通过用URLLC流量打断正在进行的数据传输来实现的。随后，会向被抢占的

UE（用户端设备）通知这一情况，以便其有效管理丢失的数据。

- 配置的授权或无授权上行传输——UE配有用于上行传输的周期性资源。因此UE在遇到有数据待传时，不需要向gNB（即5G NR基站）发送调度请求等待调度授权。

快速反馈：

- UE处理时间更短——NR时隙结构使得UE管道化以缩短处理时间。
- HARQ反馈格式短——UE能够用一至两个符号发送HARQ反馈。
- 调度请求周期短——UE可以配置一个调度请求时隙，每两个符号请求一次上行数据传输。

第二组PHY特性用于提高可靠性，包括：

数据增强：

- 从不同传输点对同一数据包进行传输来提高可靠性。我们通过在PDCP层复制数据包来实现这一操作。如此便可从两个不同的gNB向UE发送相同的数据包来增加可靠性。
- 数据通道的多时隙重复——数据包可通过2、4、8重复传输来提高可靠性。
- URLLC特定的调制和编码值，旨在支持极高的可靠性。

控制增强：

- 支持相关控制信道较低的编码率以及较小的控制包。
 - 目标可靠性为99.999%的增强型信道状态信息上报。
- 除了增强物理层外，URLLC还需要

Use Case	Reliability	Latency	Data Rate	Connection Density
Motion Control	99.9999%	1 ms	1 to 10 Mbps	100,000/km ²
Electricity Distribution	99.9999%	5 ms	10 Mbps	1000/km ²
Mobile Robots/ AGV/Drone	99.9999%	1 to 50 ms	1 to 10 Mbps	
Augmented Reality	99.9999%	1 to 5 ms	5 to 25 Mbps	
Video Assisted Application	99.99%	10 ms	10 to 15 Mbps	
Industrial Sensor	99.99%	10 to 30 ms	1 Mbps	10,000/km ²
Process Automation-Monitoring	99.9%	50 ms	1 Mbps	10,000/km ²
Hi-Definition Video	99.9%	100 ms	1 to 100 Mbps	
Video	99.9%	100 ms	1 to 10 Mbps	1000/km ²
Voice	99.9%	100 ms	20 kbps	10,000/km ²
Field Sensor/ Instrumentation	99.9%	10 sec	10 kbps	1,000,000/km ²
Public Safety/ Security	99.9%	10 sec	0.1 to 20 kbps	1,000,000/km ²
Asset Tracking	99.9%	10 sec	0.1 to 20 kbps	1,000,000/km ²

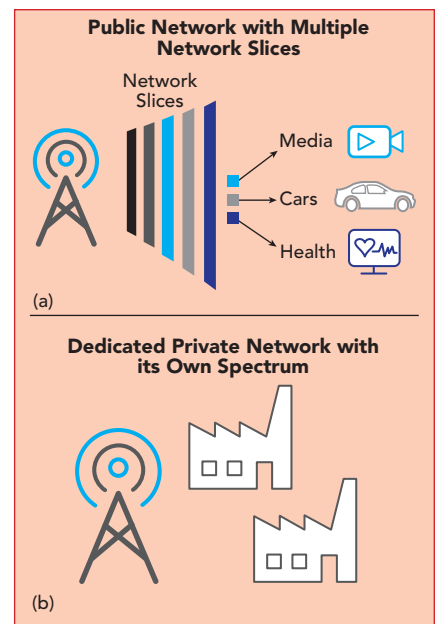


图2：工业网络的两个选项。

1,500,000 多种现货产品 | 原厂授权分销商 | 800 多万种在线产品

时不我待, 创新无限

从我们的仓库...



- 订单满 ¥300 特快免运费*
- 价格包含关税和增值税
- 订单确定当天美国统一发货



到您的门口...

400 920 1199
DIGIKEY.CN



得捷电子®

*由顺丰快递送货, 所有订单免运费。所有数据由 Digi-Key 提供。Digi-Key 是所有合作供应商授权的正品分销商。新产品每日添加。
Digi-Key 和 Digi-Key Electronics 是在美国和其他国家的注册商标。© 2020 得捷电子 (上海) 有限公司。本公司保留全部版权。
上海客服中心: 上海中山西路1055号SOHO中山广场A座504室 邮编 200051

ECIA MEMBER
Supporting The Authorized Channel



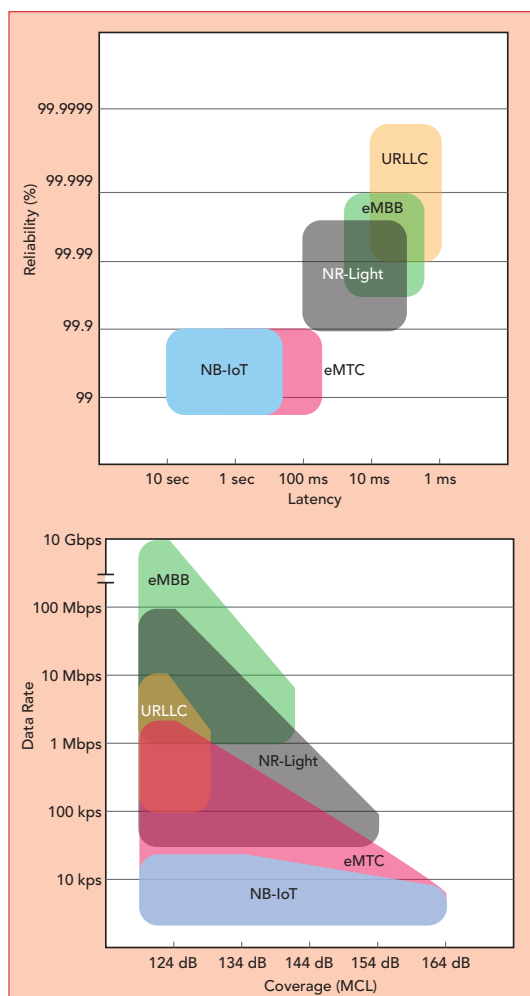


图3: NR-Light与其他NR功能的对比。

优化系统架构设计。两个重要特性是:

- 边缘云和MEC (多路访问边缘计算)——边缘云代替集中式结构,将计算资源布置在网络边缘。这样可以实现较低的端到端时延以及超短响应时间。此外,MEC对许多IIoT垂直行业而言至关重要,因为它允许实时数据分析,且减少了必须上行发送的数据量。
- 网络切片可以为多个应用分配一组专用的端到端资源。对于工业网络,一种选择是带切片的公共网络,其中每个切片的QoS和安全级别都有保障。另一种选择是专用的私有网络,具备自己的“局部频谱”和自定义安全及QoS级别。这两种选项具体如图2所示。

REL-16及REL-17中的IIoT特性

Rel-16中有两个工作项对IIoT的进一步增强进行了规范。第一个工作项涉及URLLC的物理层增强,包括以下几项:⁵

- 控制信道增强——用大小可调的控制格式来提高可靠性,增强控制信道监控水平来减少调度延迟,一个时隙内传输一个以上的ACK,且支持两个同步HARQ码本。
- 数据信道增强——小型时隙级跳变。
- 调度增强——支持无序调度及HARQ反馈、多种主动无授权配置。
- 用户间的上行传输优先级和复用——采用干扰抵消来支持上行链路抢占及增强功率控制。

第二个工作项主要解决时效性网络用例的支持问题,例如工厂自动化和电力分配。这些用例的要求比URLLC更严格(例如可靠性达99.999999%),并且对于数据包传递的时间同步要求严苛(如时延有限且差异极低的确定性服务)。该工作项包括以下几部分内容:⁶

- TSC——指定准确的参考交付时间,对TSC消息提供支持,关于QoS特性(如数据包丢失及可靠性、时延范围和低至纳秒级的同步)的硬性保证。
- 支持可靠性更高、效率更佳的PDCP复制。
- 解决来自同一用户多个传输间的资源冲突。

除了上述工作项之外,定位也是IIoT部署的重要方面。3GPP在Rel-16中试着为NR明确了定位支持⁷,包括:

- 定义接口、信令和过程。
- 扩展LTE定位协议(LPP)和NR定位协议a(NRPPa)以支持NR定位。
- 指定参考信号以支持各种定位技术。
- 定义UE和gNB适用于定位的测量结果和要求。
- 研究基于RAN的定位管理可行性。商业用例的定位要求是:⁸
- 室内部署场景——80%的UE水平定位误差小于3米,垂直定位误差小于3米。
- 室外部署场景——80%的UE水平定位误差小于10米,垂直定位误差小于3米。
- 端到端时延小于1秒。

此外,我们还需要应对无法用NR eMBB、URLLC、eMTC和NB-IoT满足的用例。因此,3GPP Rel-17/18期间会引入NR的一个版本,称为NR-Light。借助这一新功能,运营商能将其频谱迁移

到NR,从而可以在同一载波上同时支持URLLC和NR-Light,并且在频段内或保护频段部署eMTC/NB-IoT。NR-Light与其他IIoT相关技术在数据速率、时延和可靠性方面的比较如图3所示。

典型室内厂房的系统性能

本节中,我们采用射线追踪技术,对一座典型的室内工厂进行了仿真。需要注意的是,工业环境中的各种实时和射线追踪测量是由多方完成的,结果用来构筑3GPP标准主体中的IIoT信道模型。⁹⁻¹⁰

我们选择使用室内工厂场景来研究性能,该场景在28GHz载波频率下具有400MHz带宽毫米波载波。毫米波频谱中可用的高载波带宽的容量可观,而室内工厂设置本身就保障了对外部环境的良好隔离,确保了能够同时使用授权及未授权高带宽毫米波频谱。

本研究创建了一个尺寸为120 m × 50 m × 10 m的虚拟工厂,其天花板上安装了12个朝下的单扇区gNB。这与3GPP TR 38.901中“0.5-100GHz频段上的信道模型研究”里的室内办公室场景非常类似,除了天花板高度为配合工厂场景由3米增加到了10米¹¹。对于传播模型,我们利用了Altair的WinProp工具进行3D射线追踪。工厂中随机放置了矩形金属物体来代表生产线、重型机械、工具容器等。我们选择混凝土作为墙面和屋顶材料,同时给天花板增加了金属支撑梁。具体如图4所示。

我们之所以选择研究TSC用例是因为它比单独的URLLC要求更严格。除了和单独URLLC一样的高可靠性及低时延(即可靠性99.999%、时延小于1ms),TSC还强制要求发射机和接收机间的延迟为确定而非可变的。因此,接收机端增加了抖动缓冲器来抵消5G NR空中接口上的延迟变化,包括动态调度中会出现的HARQ或可变调度延迟等。

毫米波频段中使用的120kHz子载波间隔提供了0.125ms的短时隙。但是,由于存在1ms的时延约束,这意味着只有1/0.125=8个时隙可用于调度,并且由于

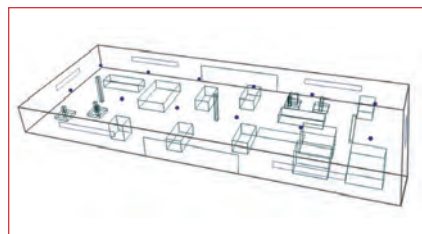


图4: 采用射线追踪进行系统仿真的虚拟工厂,其天花板上分两排布放了12个单gNB,横竖间隔均为20m。

MM-Imager90-CKP

太赫兹被动式安检成像系统



四川益丰电子科技有限公司
Sichuan YiFeng Electronic Science & Technology Co., Ltd.

ADVANTAGES

优势

- * 被动式，零辐射，安全
- * 高灵敏度
- * 检查物品范围广
- * 易于部署
- * 可多台协同工作
- * 非接触式安检，尊重隐私和人文



TECHNICAL SPECIFICATIONS

技术指标

工作距离：1-2m

视场：2m*1m

帧率：典型值10帧/秒

分辨率 (@1.25m) : 13 mm

供电：220V/50Hz, 110V/60Hz或电池

高：170cm, 长：75cm, 宽：78cm

CONTACT US

联系方式

更多信息，请访问：<http://www.yifengelectronics.com/>

公司：四川益丰电子科技有限公司

邮箱：sales@chinafirstholdings.com

电话：86-28-61962718

传真：86-28-61962738

APPLICATIONS

应用场景



机场



轨道交通



海关/边防



要害部门



会议/赛事



工矿企业

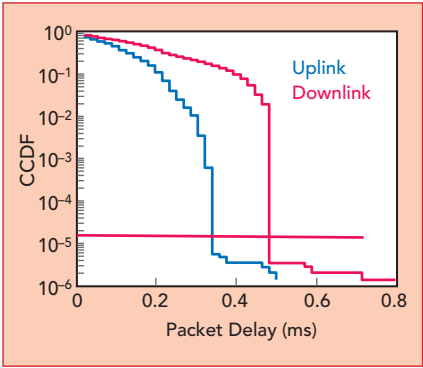


图5：上行和下行链路数据包延迟的CCDF。

毫米波频谱为时分双工（TDD），还需要拆分给上行链路和下行链路。TSC用例的流量对称，所以每个链路方向上有四个时隙可用，同时也意味着整个gNB覆盖区域只有四个模拟波束可用。对于毫米波频谱而言，这一波束成形增益通常是不够的，所以即使有120kHz子载波间隔，配置迷你时隙也是有好处的。通过选取持续时间仅为17.84 μs的含2个符号的迷你时隙，我们在1ms间隔内便可拥有56个迷你时隙。这样一来，考虑到TSC流量的对称性，如果在上行/下行链路平分，每个方向上可有28个迷你时隙。因此系统中可配置多达28个模拟波束，并且可以在不到1ms的时间内完成对28个波束的上行和下行扫描。

表2列举了完整的系统仿真假设。图5为数据包延迟的CCDF（互补累积分布函数）。本例中未收到数据包故障的报告。可以看到，上行和下行链路都可实现99.999%可靠性，时延不到1ms。图6中我们只关注下行链路以及增加工厂内活跃用户总数。我们研究了总数分别为120、300、600个活跃用户的情况，即每个gNB平均10、25、50个。由于毫米波频谱带宽较宽，我们得以在这些高流量

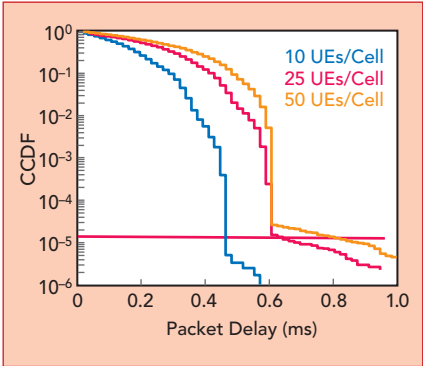


图6：下行链路数据包延迟的CCDF，UE密度为每个gNB分别有10、25、50名用户，对应工厂内共有120、300和600个活跃用户。

表2 仿真参数	
Simulation Parameter	Value
Carrier Configuration	28 GHz carrier frequency 400 MHz bandwidth 120 kHz subcarrier spacing 2 symbol mini-slots TDD spectrum
TDD Slot Format	#45: 6 DL, 2F, 6 UL. Flexible assigned to UL
Scenario	Indoor factory: 120 m × 50 m × 10 m as in Figure 3 12 single-sector gNBs mounted on ceiling in two rows, 20 ms horizontal and vertical spacing between gNBs
Channel Model	3D ray traced with WinProp®
gNB Configuration	30 dBm Tx power (4, 4, 2) antenna panel Column spacing 0.5 λ row spacing 0.7 λ 8 dBi element gain 65 degrees azimuth and elevation beamwidth per element Front-to-back ratio 30 dB Single sector, down tilt = 90 degrees Noise figure = 7 dB Analog beam configuration: 4 horizontal and 4 vertical DFT beams, for a total of 16 beams
UE Configuration	23 dBm Tx Power (4, 4, 2) antenna panel, optimally oriented towards serving gNB Noise figure = 10 dB
Scheduler Configuration	FIFO scheduling policy, segmentation-aware SPS in DL and CG in UL Max modulation: 16-QAM Link adaptation: off HARQ: off Target FER < 10 ⁻⁶
Uplink Power Control	Po_nominal = -85 dBm, FPC α= 0.8
Traffic Model	Strictly periodic traffic 32 bytes every 1 ms
Simulation Time	10 Monte-Carlo drops with each drop long enough for 10,000 packets to be transmitted per user in each link direction

的情况下依旧满足目标为99.999%的可靠性，且时延不超过1ms。

总结

由5G网络支持的工业4.0将借助新的数字服务提供商市场实现显著的收入增长。5G NR及它的变体为我们提供了诸多功能，如URLLC及其增强版本、TSC及其增强版本、网络切片和定位等。这些功能对于公共和私有网络中的IIoT部署至关重要。对于典型工厂环境的仿真研究表明，借助5G NR URLLC和TSC功能可满足严格的时延及可靠性要求。■

致谢

感谢Eugene Visotsky、Peter Merz和Andreas Maeder提供的巨大帮助。

参考文献

1. A. Ghosh et. al., “5G Evolution: A View on 5G

Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15,” IEEE Access, September 2019.
2. 3GPP, “RP-190831; Key Directions for Release 17,” RAN#84, June 2019.
3. D. Greenfield, “Nokia Employs 5G in its Own Factory,” AutomationWorld, August 12, 2019, www.automationworld.com/article/industry-type/discrete-manufacturing/nokia-employs-5g-its-own-factory.
4. 3GPP TR 38.912, “Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies,” V14.3.0, June 2017.
5. 3GPP, “RP-191584; Revised WID: Physical Layer Enhancements for NR Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC),” RAN#84, June 2019.
6. 3GPP, “RP-191561; Revised WID: Support of NR Industrial Internet of Things (IIoT),” RAN#84, June 2019.
7. 3GPP, “RP-191156; Revised WID: NR Positioning Support,” RAN#84, June 2019.
8. 3GPP TR 38.855, “Study on NR Positioning Support,” V16.0.0, March 2019.
9. 3GPP, “R1-1909706; List of Measurements Used to Derive IIoT Channel Model,” RAN1#98, August 2019.
10. 3GPP, “R1-1909807; Addition of Industrial IoT Model to 38.901,” RAN1#98, August 2019.
11. 3GPP TR 38.901, “Study on Channel Model for Frequencies from 0.5 to 100 GHz,” V14.3.0, December 2017.

固态功率放大器

Solid State Power Amplifier



高频宽带、高功率、高增益



输出驻波保护、过温保护、输入过驱保护



USB接口、以太网接口



上位机远程控制



自动校准偏置电流



6-18GHz, 100-300W



0.5-6GHz, 50W



0.7-2.7GHz, 160W



2-6GHz, 100W



18-47GHz, 5W



27-34GHz, 20W



32-38GHz, 10W

频率(GHz)	最大功率(W)	增益(dB)
0.5-6	50	42
0.7-3	160	55
2-6	100	48
6-18	300	60
18-47	5	35
27-34	20	50
32-38	10	40



低噪声放大器

频率达到54GHz
低噪声系数
小型化 超宽带



固态开关

频率达到50GHz
高速切换 低损耗
高隔离度 小型化



数控/压控衰减器

频率达到50GHz
低损耗 高精度
宽动态衰减范围 小型化



数控/压控移相器

频率达到40GHz
低插入损耗
低相位误差



滤波器

高通低通带通滤波器
带阻滤波器
频率达到50GHz
高抑制 低损耗 小型化



功分器

频率达到67GHz
低损耗 高隔离度
小型化



耦合器

频率达到70GHz
高定向性
大功率 低驻波



隔离器

频率达到40GHz
低损耗
高隔离度 高功率



扫一扫关注我



成都玖信科技有限公司

电邮sales@qotana.com 承诺24小时内答复

地址: 成都市武侯区武兴路86号兆信国际 电话: 028-85559890
网址: www.qotana.com 电子信箱: sales@qotana.com

覆盖70kHz至220GHz的 集成矢量网络分析仪的设计

Design of an Integrated VNA Covering 70 kHz to 220 GHz

作者: Jon Martens、Tom Roberts, 安立公司; Andrej Rumiantzev、Koocho Jung, MPI公司
译者: 陈刚, 安立中国

随着毫米波频率的广泛应用, 通信设备和系统的建模也在紧锣密鼓地进行。这就需要更高频率的测量设备和手段, 而这也困难重重。除了常规的S参数外, 还有其他需要在宽频率范围内测量的参数, 如增益压缩、互调失真和频率转换特性等。例如使用波导等频率选择性的仪器在高频还可以工作, 但是设置和校准会非常耗时, 而且这类仪器在不同频段的不确定度也不尽相同, 将数据拼接在一起也会导致测量的不连续性。

安立公司推出的宽带矢量网络分析仪(VNA)能够覆盖从低频到最高220GHz的频率范围, 并配有相应的探针, 可以解决许多测量难题。这样的VNA不仅需要具有足够的输出功率和可控的倍频器, 而且需要具有良好的噪声性能和足够线性度的下变频器, 还需要能够覆盖宽频范围的多路复用的源和接收机以及能够覆盖整个频率范围的在片测量的宽带连接系

统。本文着重阐述了为了设计满足所需的稳定性、噪声特性、线性度和功率大小的宽带矢网所面临的设计挑战和技术要点。

测量需求

宽带S参数和其他微波参数的测量是许多模型建模过程的核心^[1-6]。在其他情况下, 微波参数用于表征器件建模中的寄生参数。在这两种情况下, 最基础的测量数据的准确与否对于整个模型性能和描述分析都是非常重要的。为了进一步确保测量的准确性, 对探针到设备或子系统进行去嵌入操作通常是必要的。常常需要对纯净的小信号进行测量, 那就要求良好的线性度, 包括压缩性(AM/AM和AM/PM)、谐波抑制、互调失真、相邻信道功率抑制和其他参数。这些准线性或非线形参数可能是完整非线性建模模型的一部分, 或可用于基本参数表征。其中一些参数可能只能在子系统中调用,

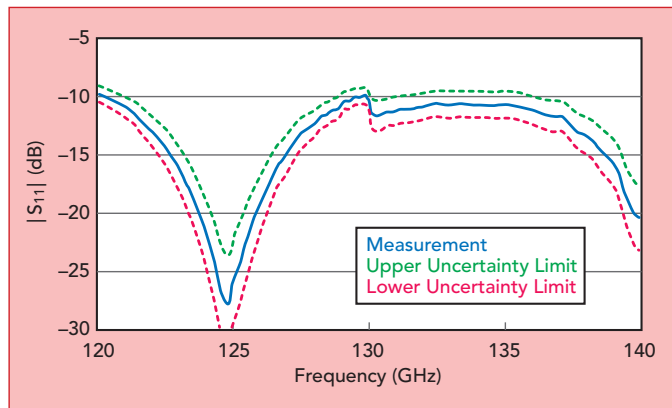


图1: 在测量设备切换交界处出现的数据拼接突变。

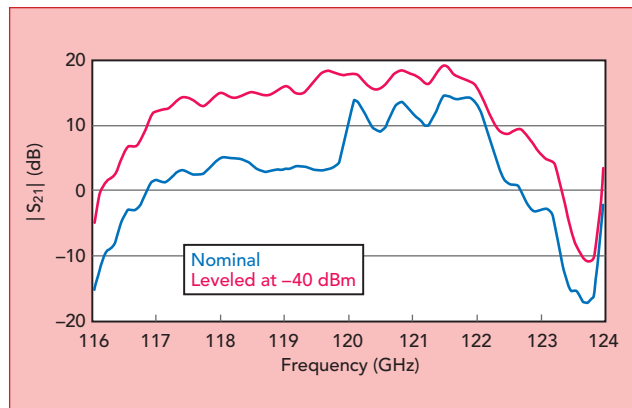


图2: 不同功率驱动120GHz LNA, 其中标称电平条件下出现了压缩。

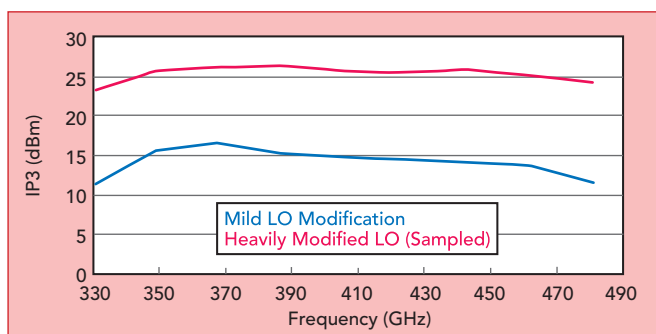


图3: 两种具有相同谐波数、不同本振设计的毫米波接收机的三阶截点图。

而在其他系统中使用别的参量,如频率转换(增益和相位)和调制失真。而这其中最为重要的是,需要在一个非常宽的频率范围内进行测量分析,而所用仪器本身的线性度并不会极大地影响测量结果。

技术难点

F波段(90至140 GHz)以上的测量面临几个挑战。一个典型的测量设备,其中可能包括一个工作频率为110或125 GHz的宽带系统,以及工作于更高频率的波导模块(例如110至170GHz、170至260GHz或90至140GHz、140至220GHz)。除非足够幸运,否则安装的不同探针台之间必然会产生测量偏差。

对于宽带设备的建模参数提取和集成电路的性能验证,产品和工艺设计规范要求待测件(DUT)需要测量多个温度点的参量(通常为5个或更多),这就意味着对待测件的触点进行多次接触测量。因为寄生阻抗随频率升高而增加,所以亚毫米波探针的金属触点都非常小。但是过小的金属触点又无法满足探针的多次测量,因此在整个频率范围和所有温度点的多个频带上测量相同的待测件是不可能的。这就要求工程师根据不同的温度或频带选择不同的待测件,从而增加了测量参量和结果的不确定性。所以,在较宽的频率范围内,如果一个测量系统能够减少接触次数或一次接触就能完成测量,这样的测量系统将会有很大帮助。

传统的矢网扩频模块对实验室环境非常敏感。若没有环路控制系统,宽带测量系统的指标会比基础的矢网漂移更快。这就需要系统进行更频繁的重新校准,增加了测量时间。频繁的配置和转接对于宽频率范围的测量不仅增加测量系统的停机时间,还可能损坏其中昂贵的系统组件,如晶圆探针和矢网扩频模块。这增加了本已昂贵的测量成本。

数据拼接

数据拼接也是一个问题。不同波段使用不同的探头,但每个探头都具有独特的接地特性、损耗和匹配特性;使用不同的

测量模块,但每个模块都具有不同的匹配特性、效率、频谱纯度、稳定性和噪声性能;这就导致了每个波段的数据将在不同的情况下进行测量。虽然经过校准,其中的一些差异得到了校正,然而,不仅是线性度、噪声、频谱纯度、漂移或重复性,还包括不同波段的不确定性和参数分布都可能会有所不同。这就提出了如何处理数据突变的问题(如图1)。图中显示了两个不同波段的测量结果存在突变的例子,虽然这两个测量过程都没有根本的错误,但是这种不连续性使测量和结果分析变得非常复杂。如果单个模块和探针在频带边缘有更高的不确定性,那么测量结果的分析将变得更加复杂^[7]。

一旦得到测量数据,去嵌入到想要的参考平面可能会有些风险。特别是使用五到九层金属的BiCMOS和CMOS工艺,所需要的晶体管参考平面可能在底层,而探针金属触点在顶部。这导致了一个由许多过孔和转换组成的“网络去嵌”,而这些都是都具有较大的插损和失配^[7-9]。增加的损耗和失配使去嵌过程更复杂,增加了测量结果的潜在误差,尤其是漂移^[10-11]。由于此类半导体制造工艺越来越多地应用于毫米波频段,因此S参数测量结果的稳定性和准确性至关重要,这决定了在整个波段中拼接数据和控制不确定性(包括测量重复性)的效果。

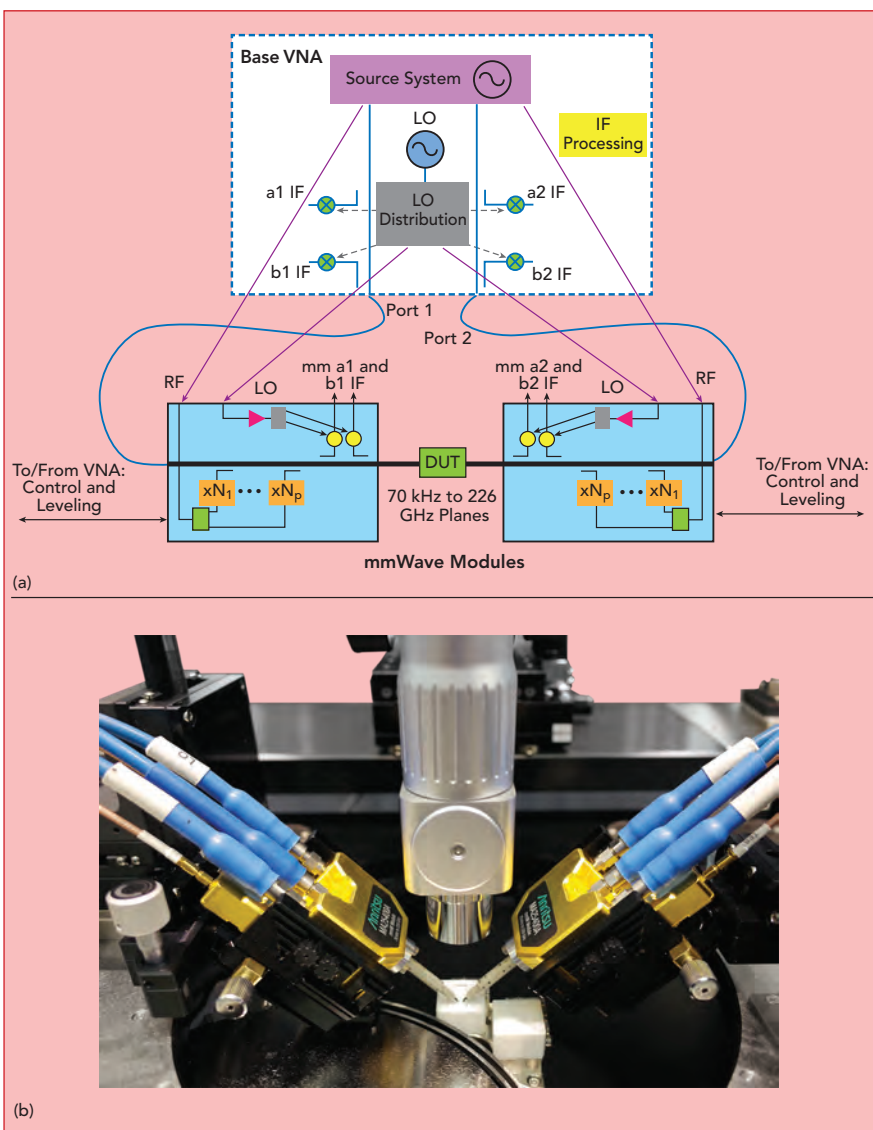
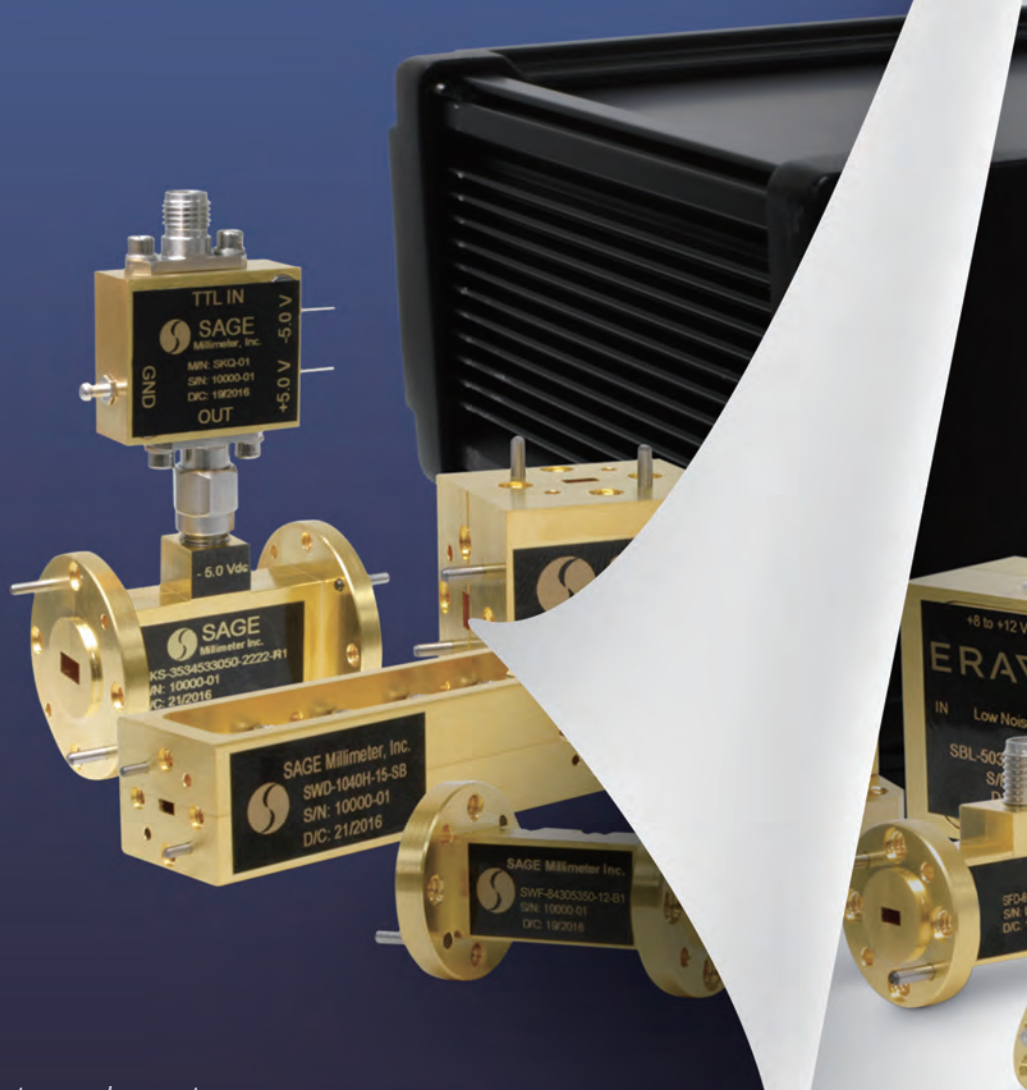


图4: 70kHz至226GHz VNA原理框图(a),毫米波模块直连到探针台(b)。



SAGE Millimeter 将于2020年3月变为Eravant, 这一变化再次彰显了我们对毫米波行业的承诺。自2011年以来, 我们一直为新一代射频工程师提供优质产品并持续改善客户体验。

随着我们不断成长为行业领导者, 我们希望有一个新的身份来反映我们为未来技术赋能的愿景。欲了解我们即将进行的转型, 请访问: www.sagemillimeter.com/eravant



www.sagemillimeter.com/eravant

www.sagemillimeter.com/eravant 3043 Kashiwa St. Torrance, CA 90505
T: 424-757-0168 F: 424-757-0188 sales@SAGEMillimeter.com

SAGE IS BECOMING ERAVANT

NEXT GENERATION MILLIMETERWAVE COMPONENTS



WWW.ERAVANT.COM
03-01-2020

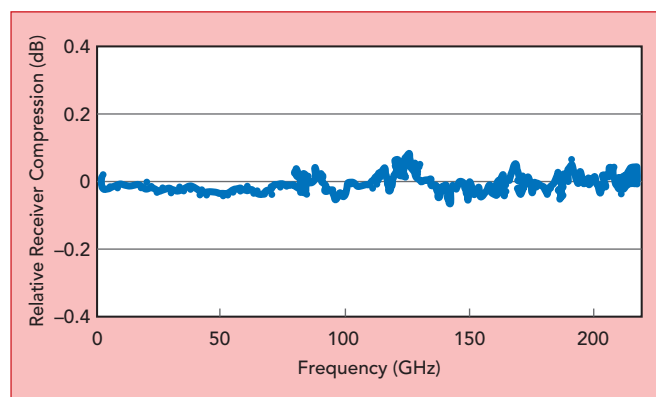


图5: 端口功率为+5和-20dBm条件下的矢网接收机的相对压缩对比。

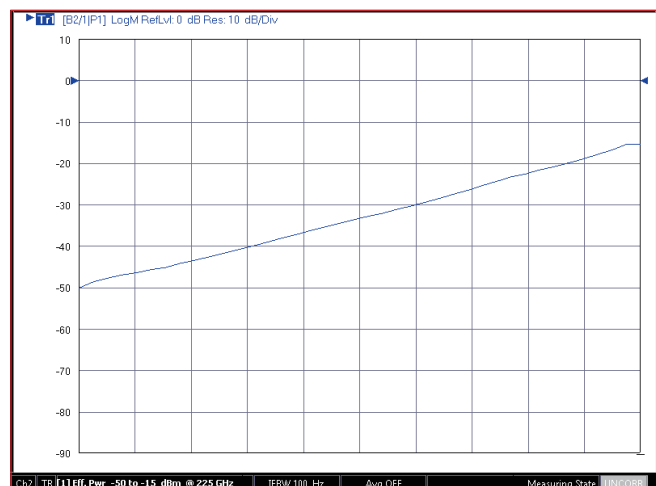


图6: 矢网在225GHz的功率控制范围。

线性度

射频驱动电平的大小对于晶体管和放大器很重要, 因为这些器件的输入压缩点可能很低。因为驱动功率可能需要-40dBm或更低, 因此为了避免出现功率压缩, 精确控制功率就显得尤为重要。对于准线性测量, 精确的功率控制更为重要^[12]。传统的解决方案中使用的机械可变衰减器无法为这类测量提供足够的功率平坦度。如图2显示了一个没有考虑驱动功率的120GHz LNA的测量结果曲线 (“标称” 曲线)。LNA的输入功率不是平坦的, 有些地方达到了-15dBm。第二次测量时, 输入功率为-40dBm。标称的增益测量显示放大器被高度压缩, 与频率变化显著, 因为驱动功率并不是平坦的。虽然这个例子可能是极端的, 但在较高的毫米波段, 尤其是在使用晶体管裸片的情况下, 功率压缩并不罕见。

即使驱动功率是精确的, 另一个挑战是仪器接收机的线性度。接收机失真修正是一项困难的工作。由于许多毫米波接收机使用的是高阶谐波混频, 因此内部的本振设计对于保持测试端口的线性度非常重要。如图3显示了两个频差100MHz的自由空间的单音信号输入到接收机的互调性能比较。两个接收机有相同的谐波数, 但使用不同的本振设计系统: 一个带有轻微的削波, 另一个带有更严重的削波, 并带有主动边缘锐化。表征接收机参考测量平面的三阶截止点的残余线性度相差了近10dB。由于转换器有不同的击穿电压, 因此也不能随意下结论。尽管如此, 在这个频率范围内, 接收机的线性度依旧会有很大的影响。

宽带矢网设计

解决这些问题的一种方法是使用高线性度的接收机、足够的集成度和系统控制的宽带VNA, 以确保稳定性。一个这样的系统的框图如图4a所示, 包括一个基本的VNA和毫米波模块。该模块使用宽带定向耦合器和基于III-V非线性传输线技术的高本振采样设计, 足以覆盖了30至226 GHz^[13]。这些下变频器的端口参考三阶互调超过30dBm, 满足线性要求。这些模块能实现54GHz以上的倍频功能, 并在测量耦合器之前使用一系列的4路复用器, 信号从对应的复用器输入。由于在较高的毫米波频率下可用的功率逐渐减少, 因此频率最高的多路复用器是最后的, 并且具有最优异的耦合度。射频和本振部分的功率环路控制能有效提高模块测量的稳定性。

将接收机、耦合器和倍增器集成在一起有助于确保热均匀性和稳定性, 耦合器靠近探针顶端也是同样的道理 (见图4b)。该测试端口是一种支持同轴的新型结构, 使用0.6mm的外导体和精密UG-387法兰盘 (而不是螺纹阀体) 来形成外部结构。同时还增加了法兰盘的接口面积, 提高了耐久性, 并显著降低了连接的轴向力和弯矩。使用高精度的UG-387法兰盘和有限的连接角度 (0度和180度), 无论是旋转还是不旋转都可以有效地提高测量的重复性。这种互连系统可以使用一个单片晶圆探头, 满足70kHz到226GHz频率的测量需求。

RF晶圆探针将沿三维介质 (同轴电缆或矩形波导) 传播的电磁能量转换到片上待测件及金属触点上。这种转换的目的是使电场和阻抗的失配达到最小。这在亚毫米波波长下尤其难以实现, 因此如何制造精密的晶圆探针对整个系统的性能至关重要。精密、匹配良好的探针有助于在较宽的频率范围内改善校准和测量结果。220GHz的MPI TITAN™探针结合50Ω MEMS金属触点来实现宽频率覆盖范围。探针设计的另一个重要方面是触点与探针接触的可见性, 以最小化所放位置的不准确性。即使没有经验的操作人员, 依靠这些设置好的探针, 在校准标准件和测量小型待测件时, 也可以实现更好的重复性和再现性。探针技术的一个经常被忽视的方面是磨损。经过多次测量后, 探针的长度通常会减小。然而, 独特设计的TITAN探针在经过成千上万次测量之后, 依旧能保持良好的射频特性。即使是在铝质质的金属触点上, 探针的寿命比同类探头也有了极大的延长, 从而降低了测试设备的测试成本和投资回报率。

使用外部激励源, 图5显示了在+5dBm输入功率下, 相对于-20dBm输入的条件下, 相对接收机的压缩。这种性能是通过仔细控制用于驱动采样下变频器的本振信号来实现的^[14]。如前所述, 功率控制是影响精确测量的一个重要因素。实现这一目标的一种方法是采用外差检测电路, 将时间常数和增益可调

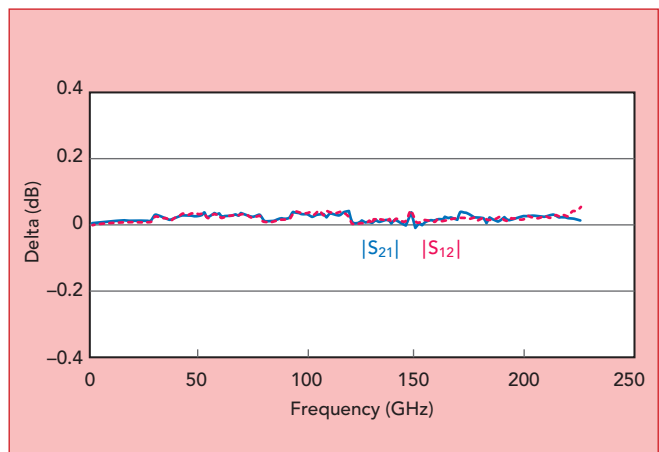


图7: 室温条件下, VNA测量直通线的24小时稳定度。

来自射频工程师的 RF解决方案



最全的射频、微波选型库 ✓

专家级技术支持 ✓

中国现货，可当天发货给国内客户 ✓

应用工程师
为您提供帮助



7天/24
小时支持

凭借着全球最大的可随时发货的现货射频元器件产品选型库，以及能为这些产品提供支持的聪明头脑，Pasternack的应用工程师们随时做好准备为您解决技术难题，并为您所有的射频项目需求提供创造性的解决方案。无论您是正处于设计困境中，还是正在寻找少见难寻的元器件，我们的应用工程师们随时待命，为您服务。更多详情，请致电400 928 5100 或访问www.pasternack.cn。

400 928 5100
sales@pasternack.cn

PE PASTERNAK
工程师的RF来源

的电平控制回路接入系统。本系统在225GHz处的电平控制范围约为35dB（见图6），在220GHz以下一般大于40dB，控制线性度位于合理区间。

稳定性对于最大限度地延长探针校准之后的使用时间和避免数据失真是很重要的，因为数据失真会增加模型拟合和分析的复杂性。图7显示了在 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 下，端口接口同轴结构18小时内的直通线的传输测量。随着温度变化对本振信号的影响，漂移随频率的增加而增加，这与预期一致，因为本振的倍频系数随频率的增加而增加。由于VNA接收机的工作频率低于30GHz，所以连接模块的射频电缆（见图4）在较低频率下影响更大。

总结

越来越多的人需要在更高的频率下进行宽带毫米波VNA测量，这给测量带来了诸多挑战：多个波段拼接数据，功率控制，确保线性度和稳定性。一个集成式的宽带220GHz系统与待测件单一端口连接是解决这些挑战的一个简单而完美的方法。该系统的线性度、功率控制、噪声性能和稳定性极大地提高了测量的精度和重复性。■

参考文献

1. H. Chen, H. Zhang, S. Chung, J. Kuo and T. Wu, "Accurate Systematic Model-Parameter Extraction for On-Chip Spiral Inductors," IEEE Trans. Elec. Dev., Vol. 55, November 2008, pp. 3267–3273.
2. I. Angelov, K. Kanaya, S. Goto and M. Addasi, "On the High Frequency De-Embedding and Modeling of FET Devices," 73rd ARFTG Conf. Dig., June 2009, pp. 1–4.
3. C. Fager, L. J. P. Linner and J. C. Pedro, "Optimal Parameter Extraction and Uncertainty Estimation in Intrinsic FET Small-Signal Models," IEEE Trans. Micr. Theory Techn.,

Vol. 50, December 2002, pp. 2797–2803.

4. M. T. Yang, P. P. C. Ho, Y. J. Wang, T. J. Yeh and Y. T. Chia, "Broadband Small-Signal Model and Parameter Extraction For Deep Sub-Micron MOSFETS Valid Up to 110 GHz," 2003 RFIC Symp. Dig., June 2003, pp. 369–372.
5. D. Williams, W. Zhao, R. A. Chamberlin, J. Cheron and M. Urteaga, "Verification of a foundry-Developed Transistor Model Including Measurement Uncertainty," 87th ARFTG Conf. Dig., June 2016, pp. 1–4.
6. J. Martens, "Parameter Extraction from 110+ GHz S-Parameter Measurements: A Heuristic Analysis of Sensitivity and Uncertainty Propagation," 2011 COMCAS Conf. Dig., November 2011, pp. 1–4.
7. D. F. Williams, A. C. Young and M. Urteaga, "A Prescription for Sub-Millimeter-Wave Transistor Characterization," IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, Vol. 3, April 2013, pp. 433–439.
8. N. Derrier, A. Rumiantsev and D. Celi, "State-of-the-Art and Future Perspectives in Calibration and De-Embedding Techniques for Characterization of Advanced Sige HBTs Featuring Sub-THz fT/fMAX," IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting (BCTM), 2012.
9. D. F. Williams et al., "Calibration-Kit Design for Millimeter-Wave Silicon Integrated Circuits," IEEE Trans. On Micr. Theory and Techn., Vol. 61, July 2013, pp. 2685–2694.
10. X. Ye, "De-Embedding Errors Due to Inaccurate Test Fixture Characterization," IEEE Electromagnetic Compatibility Mag., Vol. 1 No. 4, April 2012.
11. J. Martens, "Common Adapter/Fixture Extraction Techniques: Sensitivities to Calibration Anomalies," 74th ARFTG Conf. Dig., Dec. 2009, pp. 1–11.
12. L. Galatro, S. Galbano, A. Santaniello and M. Spirito, "Power Control for S-Parameters and Large Signal Characterization at (Sub)-mmWave Frequencies," 85th ARFTG Conf. Dig., June 2015, pp. 1–4.
13. J. Martens, K. Noujeim and T. Roberts, "An Improved Stability Broadband/mmWave VNA Structure," 77th ARFTG Conf. Dig., June 2011, pp. 1–4.
14. J. Martens, "Sub-mmWave and THz frequency Conversion: LO Waveform Control and Sampling Technologies," 8th ESA Workshop on Millimeter-Wave Technology and Applications, December 2018.

俊科[®] SHX

上海华湘计算机通讯工程有限公司

DC-65G 衰减器/负载



New
1.85mm
SMPM

65G



DC-6G 程控/可调衰减器



DC-6G 衰减器/负载



DC-40G 衰减器/负载



地址：上海市田州路99号13号楼3层 电话：021-54451396
网址：www.shx-sh.com 邮箱：shx@shhuaxiang.sina.net



5G宽带高精度幅相控制测试系统

Wideband, High-Resolution Phase-Amplitude Control Test System for 5G

刘伟, 伟博电讯

大规模MIMO (mMIMO) 幅相控制网络是5G射频技术的关键, 然而目前市场上实现幅相控制的移相器和衰减器都是窄带的, 典型带宽仅为200MHz, 对Sub-6GHz频段, 分辨率不超过7bit, 毫米波频段为6bit。因此, 构建覆盖全部5G频段的测试系统, 需要大量的窄带设备和高昂的成本, 且性能还不足以满足高精度测试的要求。本文介绍的宽带幅相控制模块在市场上具有最宽的带宽1.7-6 GHz和24-40 GHz及最高的分辨率和精度。两个模块分别覆盖5G的Sub-6GHz和毫米波频段, 控制分辨率和精度可达0.1dB和1°以及0.2dB和2°, 动态范围可达50dB和360°。这些幅相控制模块可用于构建波束赋形网络、大规模MIMO、OTA和多通道信号模拟器等测试系统。由于它们具有宽带、高分辨率、高精度等特点, 构建各种测试场景变得简单、快捷, 且可大大降低成本。

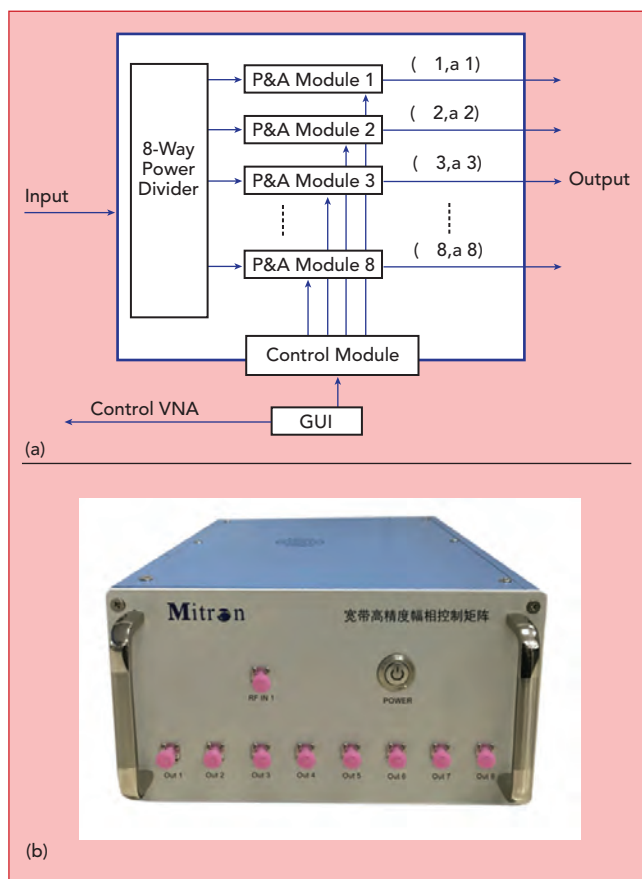


图2: 1x8多通道幅相控制矩阵框图 (a), 矩阵尺寸为220mm × 290mm × 150mm (b)。

随着5G服务的商业化应用, 市场对5G测试设备的需求迫在眉睫。5G和4G之间最显著的差异就是大规模mMIMO和毫米波技术的应用, 并基于这些技术去实现宽带、大容量和高数据速率传输。5G测试应用包括模拟信号环境、多通道mMIMO评估、相控阵OTA波束赋形评估和自动化生产测试。由于4G测试方法和系统已经非常完善, 所以将mMIMO和毫米波技术与现有测试技术相结合是开发5G测试系统的关键所在。

mMIMO要求对Sub-6GHz或毫米波频段的多路信号的相位和幅度进行精确和同步的控制, 尽管市场上已有一些mMIMO信道模拟器和OTA测试产品, 但它们往往存在以下缺陷:

精确度和频率覆盖范围 — 现有测试系统使用的衰减器和移相器与5G系统供应商使用的相同, 这不满足测试设备应该具有更高精度的要求。按照测试理论, 只有测试设备的精度高于被测系统的精度时, 测试才是有效的。否则, 很难保证测试结果的有效性。在6GHz以下, 市场上的MMIC数控移相器和衰减器最小步进为1.4°和0.25dB, 这意味可提供±2.8°和±0.5dB理论精度, 实际产品的性能通常更差。在24GHz到40GHz频段, 市场上则几乎见不到覆盖5G毫米波频率的MMIC数控移相器和衰

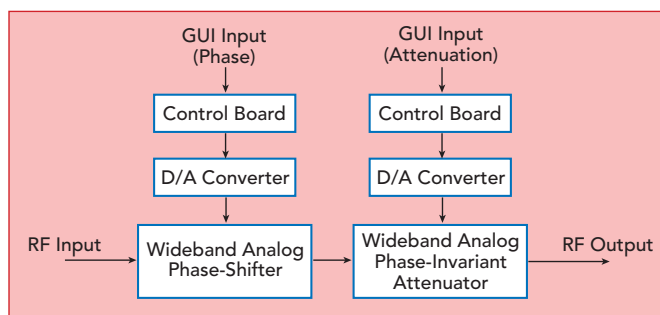


图1: 幅相控制矩阵框图。

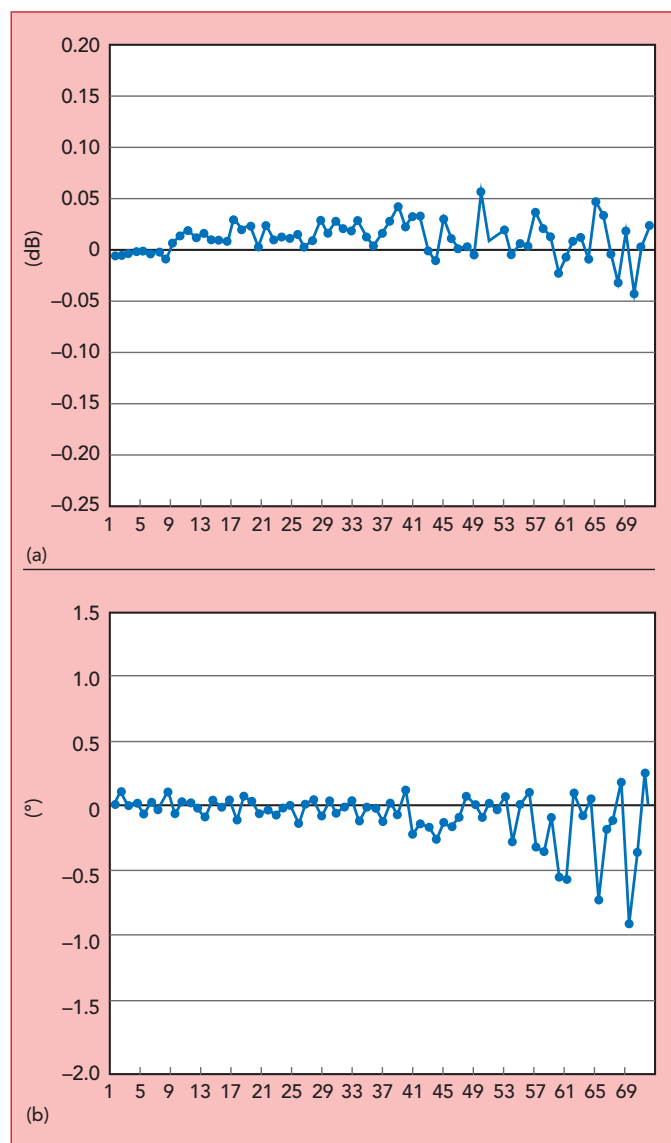


图3: 1x8矩阵在3.5GHz时40dB和360°动态范围内一系列随机幅度和相位设置时的幅度 (a) 和相位 (b) 精度。

减器。所见报道的产品步进分辨率只有5.6°和0.5dB，其精度则必差于±11.2°和±1dB理论值——这与5G所需的精度相差甚远。更大的问题是，这些产品几乎都是窄带的，通常只有200MHz带宽，故而构建覆盖全部5G频段的测试系统需要多个窄带系统，这无疑将是一项巨大的投资。

相位和幅度不是独立的 — 衰减器衰减时，相位将发生变化；当移相器调整相位时，衰减也将发生变化。在工作过程中，温度和信号幅度也会影响相位和衰减，使系统校准和温度补偿复杂化。要同时做到宽的带宽且精度高几乎是不可能的，这样的技术壁垒使得市场上大多数Sub-6GHz MIMO信道模拟器仅能模拟信号衰落，而无法同时调节相位或模拟信号路径。针对毫米波应用的

MIMO信道模拟器，目前市场上更是处于空白阶段。

扩展困难 — 测试系统的复杂性使得以合理的成本对通道数进行扩展并保持性能指标变得非常困难。

理想的幅相控制

理想的多通道幅相控制系统应具备以下特性：

高精度和稳定性 — 系统的幅相精度应满足未来测试系统的要求，为5G设备供应

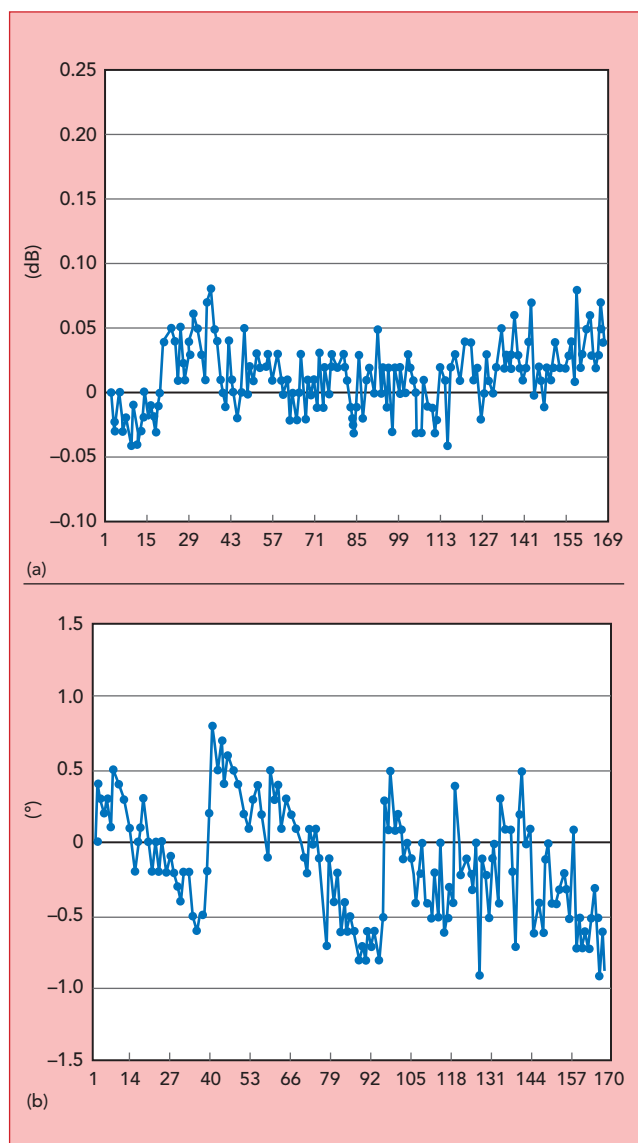


图4: 1x16矩阵在28GHz时40 dB和360°动态范围内一系列随机幅度和相位设置时的幅度 (a) 和相位 (b) 精度。

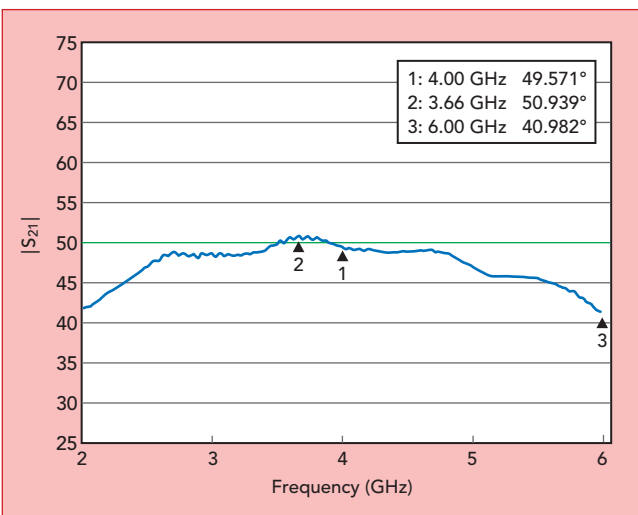


图5: 1.7-6GHz矩阵15dB衰减、50°相位设置时在2-6GHz的典型相位响应。



Superbend C29S

微波/毫米波超小弯曲电缆组件

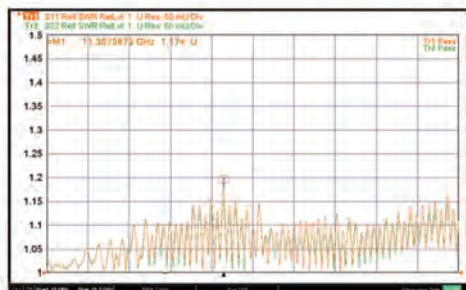
Up to 50GHz



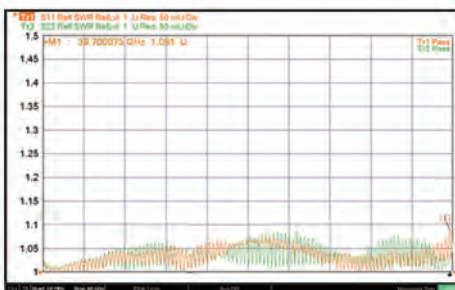
- ★ 可选连接器: SMA Male (26.5GHz)
2.92mm Male (40GHz)
2.4mm Male (50GHz)

超小弯曲

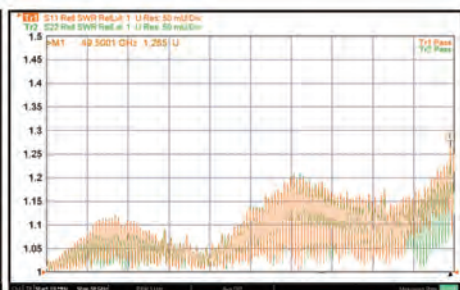
直头替代弯头, 性能更优, 成本更低, 安装空间更小



26.5GHz



40GHz



50GHz

迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

福州迈可博电子科技股份有限公司
电话: 400-918-0388
邮箱: sales@micable.cn
网址: www.micable.cn

经销商: 伟博电讯有限公司
电话: 400-887-3088
邮箱: sales@mitron.cn
网址: www.mitron.cn

商和运营商提供具有长期效益的一次性投资。性能必须随时间、温度和输入信号电平的变化而保持稳定，从而保证性能可重复性和可靠性。

宽的带宽 — 单个设备应覆盖所有5G Sub-6GHz或毫米波频段，从而避免额外设备的投资并减少测试所需空间。每个单元应具有宽瞬时信号带宽和低的信号失真以保证高信号质量和高数据传输速率。

易于使用且可适合各种应用 — 为了最大限度地提高测试效率，设备校准应简单，系统应易于操作并方便连接到其它设备进行自动化测试。同时系统非常容易实现多个通道和MIMO系统同步控制。

理想的多通道幅相控制系统应具备的每一项要求无疑都是极大的挑战，迫使设计者必须用不同的方法对幅相控制设备进行设计。

伟博电讯 (Mitron) 采用的方法是首先开发模拟移相器和衰减器，然后通过控制数字化来实现数控移相器和衰减器。由于以模拟器件为基础，数字控制的位数可以依控制精度的要求进行选择。例如，要获得 5° 相位精度，则选择8bit相位控制；对于60dB动态范围要实现0.5dB衰减精度，则选择9bit幅度控制。

为了使设备小型化，模拟移相器和衰减器被集成到一个幅相控制模块中，通过USB或TTL接口进行控制（图1）。该模块尺寸仅为 $203\text{mm} \times 88.9\text{mm} \times 21.59\text{mm}$ 。在任意幅相组合设置，相位控制为 1° 最小步进和 2° 绝对精度（典型值小于 1° ）；幅度控制为0.1dB最小步进和0.2dB绝对精度（典型值小于0.1dB）。模块的整体动态范

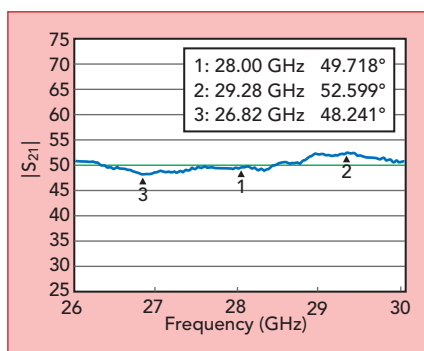


图6: 24-40GHz矩阵0dB衰减、 50° 相位设置时在26-30GHz的典型相位响应。

围为 360° 和50dB。为了减少相位和幅度调整之间的影响，设计采用了“组合校准方法”，自动测试和记录各种相位和幅度组合，创建用于测试软件访问的数据库。对于用户选择的任何相位和幅度值，相应的控制代码可通过软件找到。

将多个幅相控制模块进行组合，即可构建适合5G测试应用的多通道矩阵。图2显示了覆盖1.7-6 GHz或24~40 GHz的 1×8 多通道幅相控制矩阵的框图和照片。两种型号为同样封装，尺寸仅为 $220\text{mm} \times 290\text{mm} \times 150\text{mm}$ （包含电源和控制电路），矩阵采用110-220V交流电

源并通过USB进行控制。每个模块中的高速同步触发器使每个通道能同时设置好相应的幅相值。由于每个单元的校准都是内部进行的，所以无需外部设备或矢量网络分析仪进行校准。该矩阵具有优异的可重复性和可靠性，测试数据显示，该矩阵在一年后无需重新校准仍可保持相同的精度。

为了展示构建幅度和相位控制矩阵的能力，伟博电讯 (Mitron) 建造了分别覆盖1.7-6 GHz的 1×8 多通道和覆盖24-40 GHz的 1×16 多通道幅相控制矩阵。两者覆盖了当前所有的5G Sub-6GHz和毫米波频段，可以 2° 相位和0.2dB幅度精度实现任意幅相组合。由于设计选用了高重复性的器件，以及容错优化设计和有效的补偿和校准，两款产品精度实测都在 1° 和0.1dB以内。

图3显示了 1×8 矩阵在3.5GHz时0-40 dB和0- 360° 动态范围内一系列随机幅度和相位设置时的幅度精度 (a) 和相位精度 (b)。对于毫米波矩阵，图4显示了28GHz时，0-40dB幅度和0- 360° 相位范围内任意幅相设置下的幅度精度 (a) 和相位精度 (b)。对于Sub-6GHz矩阵，图5显示了相位设置为 50° 、幅度设置为15dB时在4GHz频率范围内的相位平坦度。对

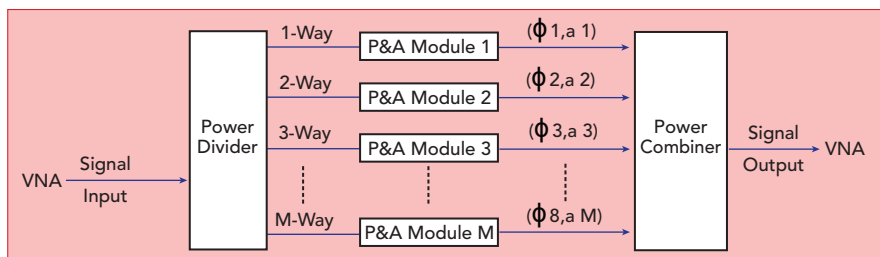


图7: 用于模拟理想波束赋形产生的装置，可以用于评估波束赋形算法。

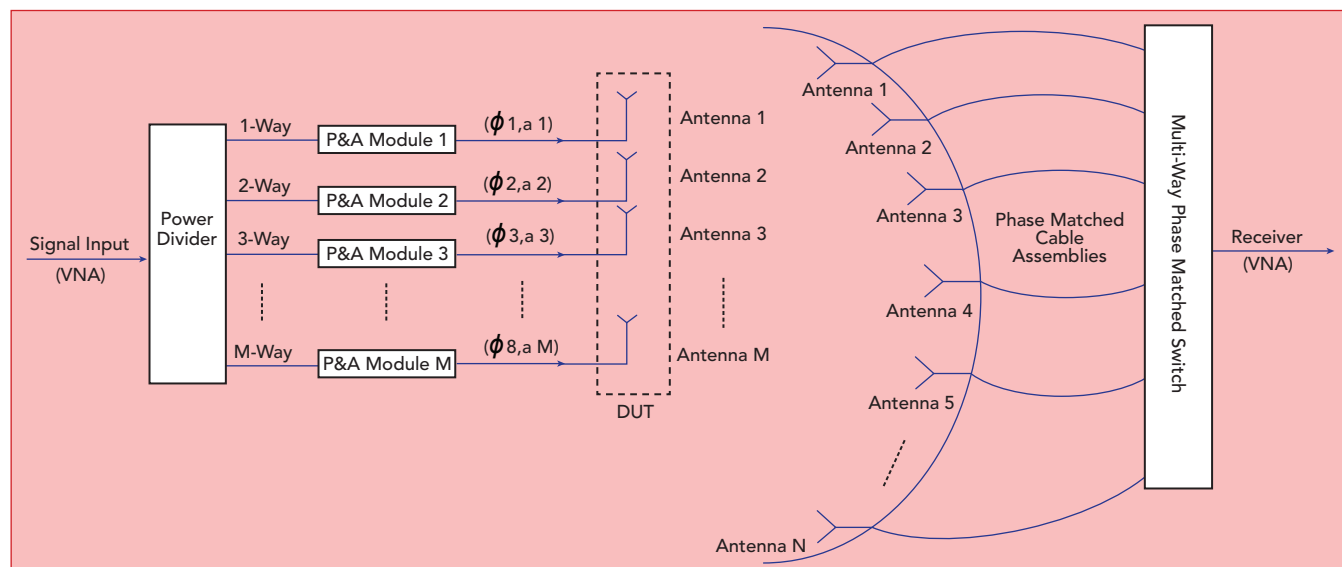
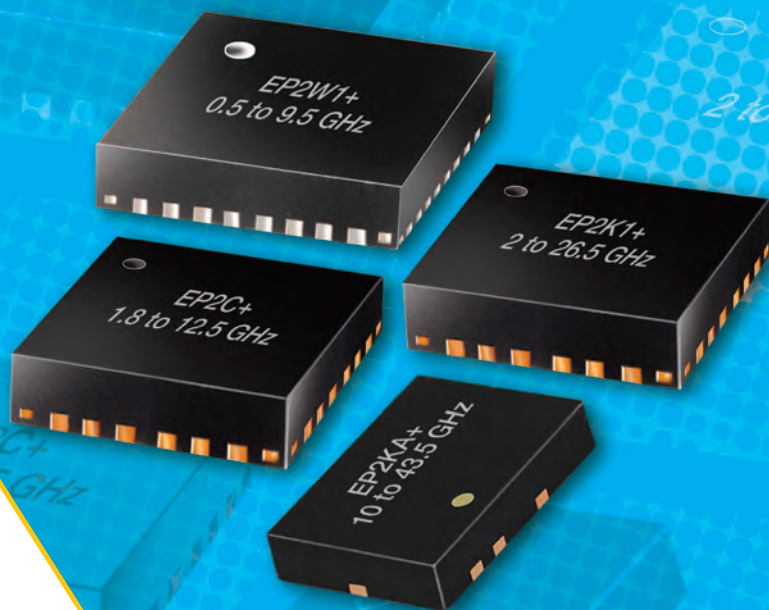


图8: 相控阵天线阵列和OAT测试系统构建。

MMIC 功分器/合路器

高达 43.5 GHz



带宽达**业内最宽**水平！

- ▶ 承受功率高达 2.5 W
- ▶ 插损：1.1 dB（典型值）
- ▶ 隔离度：20 dB

Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在！



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

www.minicircuits.com

P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003

(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.

Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址：福建省福州市349信箱

全国免费服务热线：400-887-3088

E-mail: sales@mitron.cn

邮编：350003

传真：0591-87870011

网址：www.mitron.cn



更多产品资讯
关注伟博电讯公众号

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

于毫米波，图6显示了同样将相位设置为50°、幅度设置为15dB时在4GHz频率范围内的相位平坦度。

应用

幅相控制矩阵的典型应用：

测试和验证波束赋形算法 — 为了测试波束赋形，M路具有独立幅相值的信号可以被产生，且在无需天线和OTA传输的情况下直接被合成(图7)。此设置对于测试和验证波束赋形算法是非常有

用的，所搭建的评估测试系统表明，矩阵信号合成的实际测试结果与理论计算值相比，误差仅为1.6%。

相控阵OTA测试 — 要测试相控阵的天线单元，含驱动功率放大器在内，可以使用幅相控制矩阵创建馈电网络，为每个单元提供精确的相位和幅度信号(图8)。对于Sub-6GHz和毫米波频段，信号误差小于2°和0.2dB。使用该系统，可以对阵列的波束控制和频率特性进行评估。系统还可作为标准参考阵列

為配合客戶使用 Keysight 測試設備需要，
EPX最新開發了一系列 “DIP” 控制接頭的單刀雙擲、
轉換開關、單刀多擲及開關矩陣，頻率範圍達到 DC-40GHz，
EPX 交貨快捷、價錢優惠、常備現貨。

Features / Type	SPDT-9D-40D-TPSI-S9	TRAN-9D-40D-D-D10	SP6T-9D-40D-TDPASI-D16
Characteristic	Internal Termination Positive + Common Self Cutoff Diodes	TTL Driver	Internal Termination TTL Driver Positive + Common Auto Reset, Self Cutoff Diodes
Connector	SMA, K	SMA, K	SMA, K
Actuator Type	Latching	Latching	Latching
Frequency Range	DC - 40GHz	DC - 40GHz	DC - 40GHz
Oper. Temp. C	-25 to +65	-25 to +65	-25 to +65



同時，EPX為客戶訂造大功率專用微波開關，提供專業技術支援，
不收額外訂造費用，2020年第一季完成52GHz成品開發，
歡迎客戶垂詢。

億兆微波有限公司
EPX Microwave Limited

億兆微波有限公司
香港黃竹坑黃竹坑道39號
偉晉中心1期22樓
電話：(852) 28950907
Email: sales@epxmichrowave.com

Santo

深圳市安盛特科技有限公司
深圳市福田区彩田南路
中深花園大廈A座1512樓
電話：(86) 0755-82924546
Email: alex_zhou@santo-tech.com



EPX microwave inc.

www.epxmichrowave.com

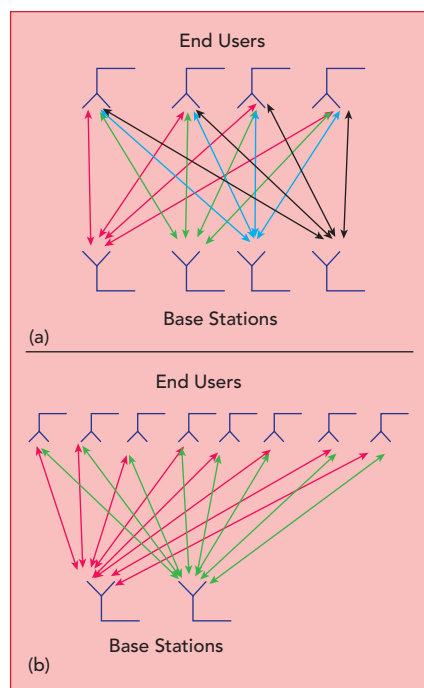


图9：交互式矩阵可以模拟各种基站和用户场景，诸如4×4和2×8。

用于与具有集成前端模块的阵列进行比较测试。

基站链路测试模拟 — 由于幅相控制模块是互易的，可以双向传输信号，因此可使用幅相控制模块和多路功分器、多路合成器组成矩阵网络来模拟基站和用户之间的各种MIMO场景。图9作为示例，描述了两场景：4个基站和4个用户（4×4），2个基站和8个用户（2×8）。其它的场景，诸如4×16和16×64等，可按照乐高®积木式原则轻松搭建。

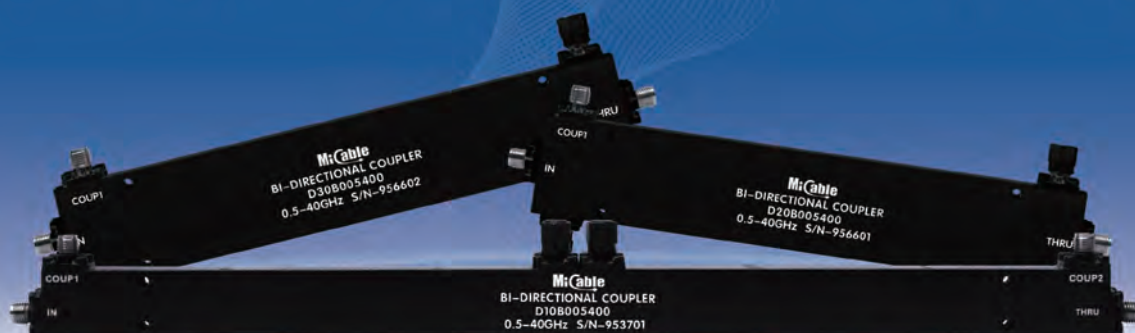
其它应用环境 — 此系统可用于任何多路同步信号（且每路信号具有独立幅度相位）系统的测试应用。例如，它可以模拟多通道信号衰落、路径或多普勒频移来模拟移动物体（如车辆或飞机），产生复杂的电磁信号环境。由于其宽带特性，该矩阵还可用于载波聚合和相邻信道及基站干扰测试。

结论

宽带高精度幅相控制模块/矩阵使Sub-6GHz和毫米波5G全频段的测试变得简单。模块可覆盖1.7-6 GHz及24-40 GHz，并且高频可扩展到43GHz。这些模块可容易地与功分器及合成器组合，经过简单的校准，即可搭建各种定制化的测试系统，非常适合研发实验室和产线应用。设计方法固有的高精度特性确保矩阵可以支持未来几代的通信标准。■

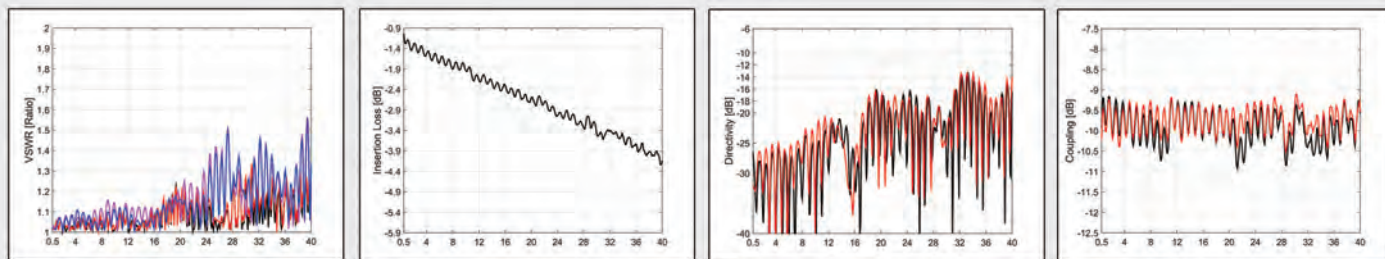
创新技术 引领未来

迈可博® 0.5~40GHz 超宽带双定向耦合器



- 超宽工作频率：0.5~40GHz
- 优异的耦合度、平坦度、方向性，显著提高信号采集精度
- 满足国军标（GJB150）环境标准
- 低驻波、低插损，多种接头可选
- 提供多频段工程定制

—— 耦合器测试曲线 ——
(D10B005400)



型 号	耦合度 Max. (dB)	主线驻波	耦合端驻波	插入损耗*	平坦度	方向性 Min. (dB)
		Max. (:1)		Max. (dB)		
D10B005400	10±0.9	1.7	1.7	5	±1.4	12
D20B005400	20±1	1.7	1.7	2.8	±1.2	10
D30B005400	30±1	1.7	1.7	2.7	±1.2	10

*包含理论耦合损耗

10dB双定向耦合器 0.92dB; 20dB双定向耦合器 0.08dB; 30dB双定向耦合器 0.008dB

迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

福州迈可博电子科技股份有限公司
电话：400-918-0388
邮箱：sales@micable.cn
网址：www.micable.cn

经销商：伟博电讯有限公司
电话：400-887-3088
邮箱：sales@mitron.cn
网址：www.mitron.cn

采用积木式模块开发 超宽带机载探雪雷达

Prototyping an UWB Airborne Radar for Snow Probing Using Modular Building Blocks

F. Rodriguez-Morales, C. Carabajal, A. Paden and C. Leuschen

Center for Remote Sensing of Ice Sheets, University of Kansas, Lawrence, Kan.

J. McDaniel

Advanced Radar Research Center, University of Oklahoma, Norman, Okla.

A. Wolf and S. Garrison

Kansas City National Security Campus, Kansas City, Mo.

利用快速原型设计技术，基于定制的微波滤波器以及来自商业合作供应商的现成积木式电路和定制的直流偏置电路，开发出一套小型超带宽（UWB）雷达收发模块。作为实现全系统小型化的中间步骤，使用该技术的微波器件集成电路能够用于评估不同的配置，通过减小的形状来提高雷达性能。在1瓦的发射功率和小范围旁瓣的条件下，模块化的发射机和接收机可提供160分贝的环路灵敏度。这些模块计划用于需要多个GHz带宽以实现厘米级垂直分辨率的机载雪地探测应用。实验室测试结果表明，与其它较大的连接组件相比，该模块的整体性能有了全面的提高，雷达图像显示，这些模块可用于从远距离的飞机上测量陆地和海洋冰面上的雪层厚度。这项工作由能源部的堪萨斯市国家安全园区和美国国家航空航天局（授权号NNX10AT68 G）资助，国家安全园区由霍尼韦尔联邦制造和技术有限责任公司运营（合同编号DE-NA002439）。

超带宽微波雷达由于其工作带宽宽，被广泛应用于从医学成像和隐蔽物体探测到航空地球物理测量和基础设施测绘¹⁻⁴等各种应用。这种仪器能够分辨出空间密集的目标和介质的界面，使其成为测量积雪厚度和绘制季节性积雪变化图的理想设备（见图1）⁵。堪萨斯大学的UWB雪地雷达是一个工作于2至18GHz的调频连续波（FMCW）系统，最初用于测量海洋冰面上的积雪厚

度，并以厘米分辨率绘制积雪堆高度⁶。该仪器的早期版本在射频（RF）部分采用了带连接器的组件或连接器/印刷电路板（PCB）混合组件，并装备在大型固定翼飞机上，用来大范围收集积雪厚度信息⁶⁻⁷。

对于未来的应用，如在无人驾驶飞行器上使用，需要减少雷达的SWAP。作为实现系统全

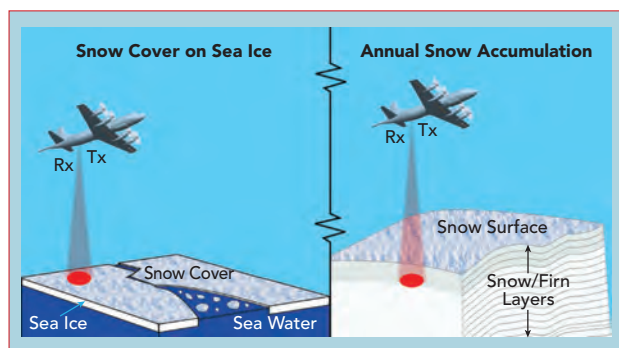


图1：UWB雷达能够测量雪的厚度以及雪堆高度的季节性变化。

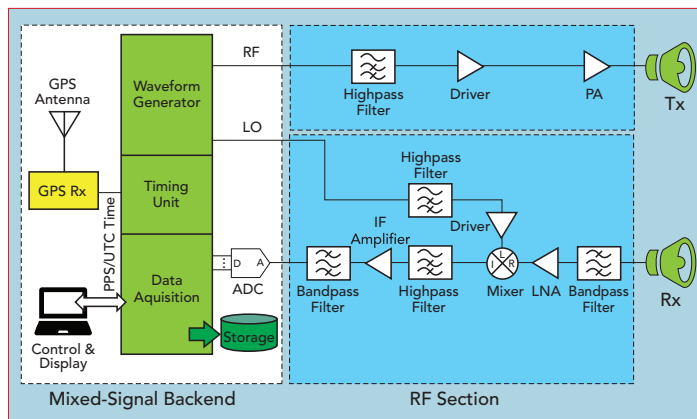
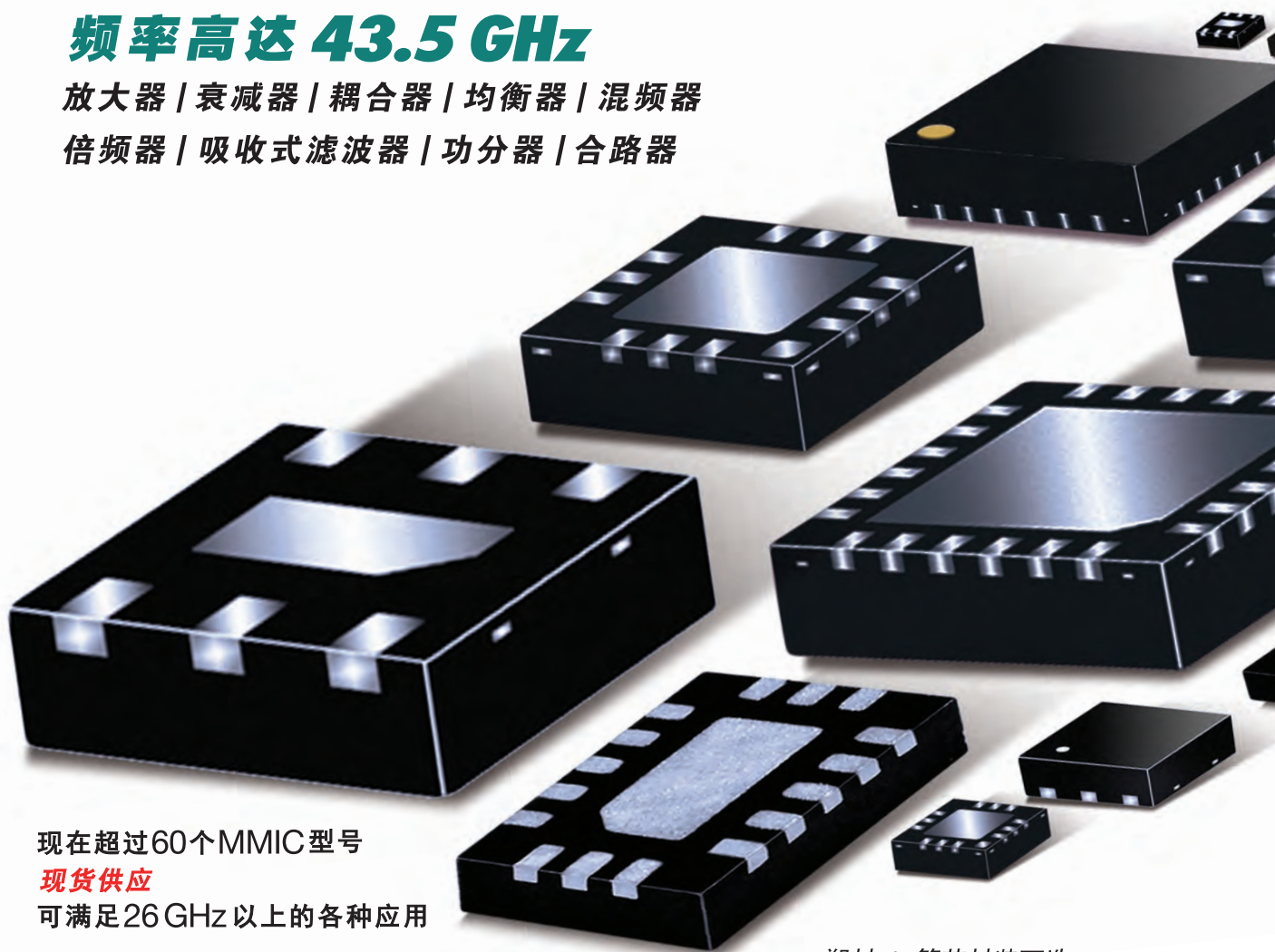


图2：UWB雷达方框图。

毫米波 MMIC 产品

多倍频带宽
频率高达 43.5 GHz

放大器 | 衰减器 | 耦合器 | 均衡器 | 混频器
倍频器 | 吸收式滤波器 | 功分器 | 合路器



现在超过60个MMIC型号
现货供应
可满足26 GHz 以上的各种应用

塑封 & 管芯封装可选

Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在!



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED
www.minicircuits.com
P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003
(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.

Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址: 福建省福州市349信箱

全国免费服务热线: 400-887-3088

E-mail: sales@mitron.cn

邮编: 350003

传真: 0591-87870011

网址: www.mitron.cn



更多产品资讯
关注伟博电讯公众号

面小型化的中间步骤，来自商业供应商X-microwave的模块化组件⁸被用于评估不同的接收器和发射器配置。该技术使用无源和有源元件，这些元件安装在以网格方式排列的分立PCB载体上，并通过柔性GSG（地-信号-地）跳线连接。这种方法便于在进行最终设计之前优化雷达的射频性能，如线性度、接收机灵敏度、发射功率和总体性能等。它还能使合适的芯片组适用于无论是集成封装还是分立封装的形式，以适应未来的小型化。

首先，使用商用连接器部件建立一个工作频率为2~18 GHz的雷达参考系统，确立雷达的性能基准。该雷达试验台在实验室完成了相应的调测调试，并用于在NASA飞机飞越北极和南极上空时收集大量的积雪数据，以支持2017年冰山行动⁹。随后就开发出了使用X-Microwave框架的发射机和接收机模块，并集成在改进的雷达演示器中。

本文介绍了模块化接收机、发射机以及升级后的2~18GHz雷达系统。这些经过精心选择和增加了集成度的组件提高了雷达性能，并证明了机载雷达系统的新模块在测量积雪厚度方面的实用性。

系统概述

图2显示了雷达系统的简化框图。波形发生器产生一个2至18 GHz频谱范围内的线性调频信号（chirp，又称啁啾信号）。该调频信号在馈送发射天线之前通过发射机进行滤波和放大。来自观测场景的散射信号被第二个天线捕获，并由接收器前端滤波器和低噪声放大器进行调节。另外，发送信号的副本被注入混频器的本地振荡器端口以对放大的接收信号进行去调频（de-chirp）处理。混频器输出处的中频信号被高通滤波，以抑制由于发射天线和接收天线之间的直接耦合而产生的频谱成分。在数据采集系统中，中频信号需在模数转换器转换之前经过放大和带通滤波，该系统存储有GPS时间戳距离信息。雷达搭载在机载平台上，天线安装在机身下方。由于UWB的加入和运行，其系统的高分辨率对于检测海洋冰面上的薄雪覆盖和测绘冰川上或地面上季节性积雪是有好处的（见图1）。

滤波器的开发

微波滤波器在雷达应用中提供频率选择性，特别是在接收机输入端，它可以消除其它工作在甚高频（180至210 MHz）、超高频（600至900 MHz）和Ka波段（32至38 GHz）的机载雷达产生的干扰。Yan、McDaniel等人^{6,10}在悬浮衬底带状线上开发了一套特制的高通和低通滤波器，工作频率为2-18GHz。他们对这些滤波器的同轴发射结构进行了修改，以创建一个与X-Microwave积木结构兼容的插入式组件。

安装在试验车辆上的滤波器（见图3a）能够顺利过渡到与同轴探头相连的平面传输线上。图3b和3c显示了两个滤波器的测量响应，补偿了探头损耗，并与分立式组件进行了比较。高通滤波器的响应与其连接的对滤波器响应相当，在6.5到16GHz频率范围内，回波损耗有了全面的改善。这两种实现方式的回波损耗在8 GHz以下及15 GHz以上基本相当，但针对不同的频率还是存在一些差异。插入式低通滤波器的衰减速度略快于连接式滤波器。在同一批次的其他样品中也有类似情况，伴随着后面一直到18GHz频段回波损耗的良好表现，它表明是滤波器响应的差异，而不是同轴结构的问题。

模块组件

为了获得最佳的总体性能，工作人员测试了多个接收器和发射器的芯片组。尤其是针对不同的混频器设备进行了评估，

以使接收器中的短程泄漏¹¹或“相干噪声”最小。相干噪声是FMCW雷达固有的一种伪影，它是由发射机和接收机的各种回路和机械结构（包括天线和混频器端口）耦合而产生的。相干噪声的主要贡献者包括啁啾（chirp）本身的相位噪声和带内谐波，以及啁啾信号与内反射自混合的产物。混频器阻抗匹配和端口间隔离是减小相干噪声的关键。在所评估的宽带混频器中，最好的是具有现场可更换连接器的连接组件，且该组件用作插入块。使用低相位噪声的LO驱动放大器也可提高雷达性能。为了获得至少1w的输出功率（与连接式参考系统中

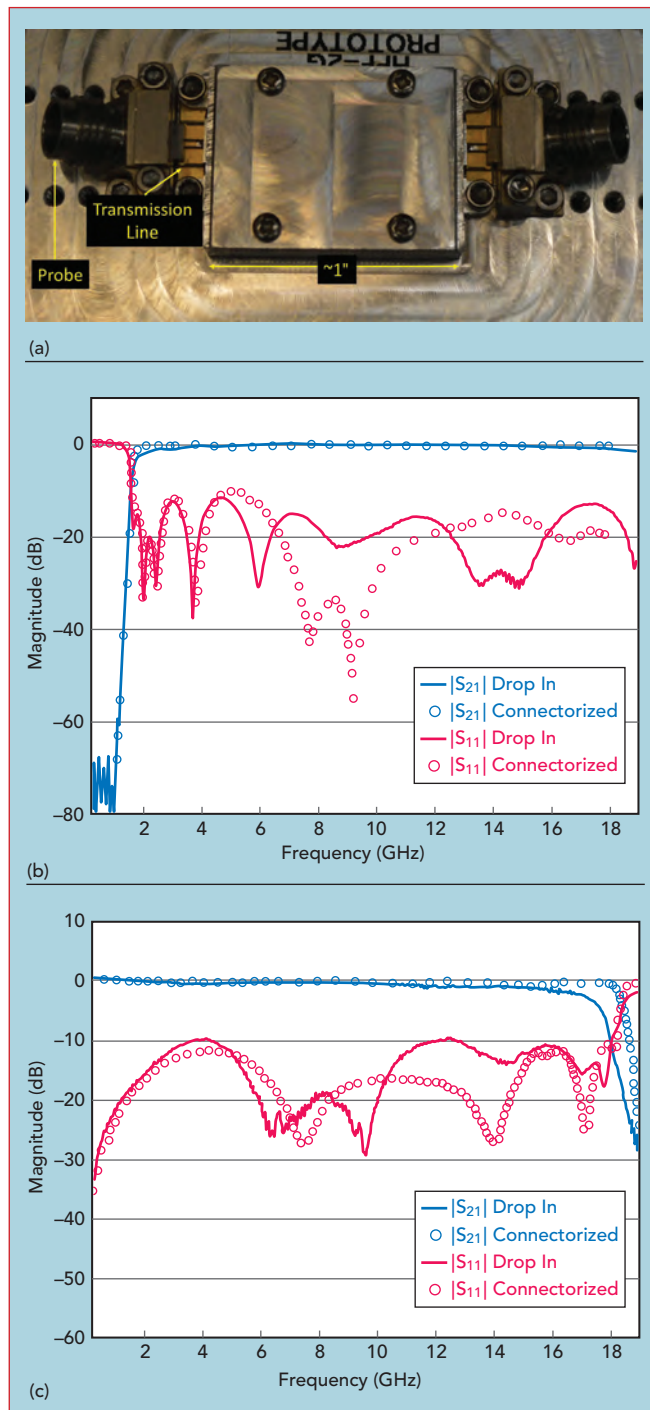


图3：测试车辆中的高通滤波器（a），插入式与连接式高通滤波器性能比较（b），插入式与连接式低通滤波器性能比较（c）。

创新技术 引领未来

迈可博® 0.5~40GHz 超宽带功率分配器/合成器

低驻波

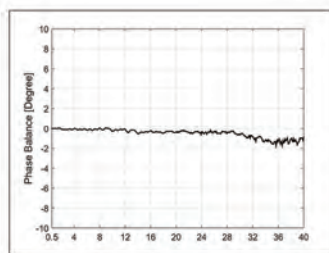
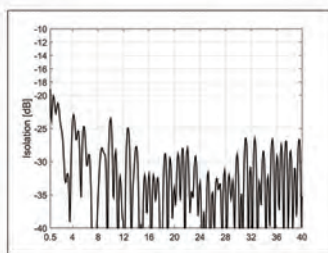
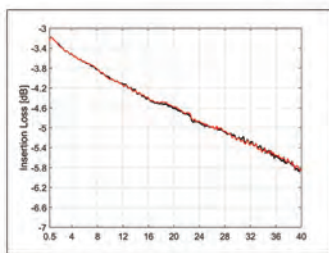
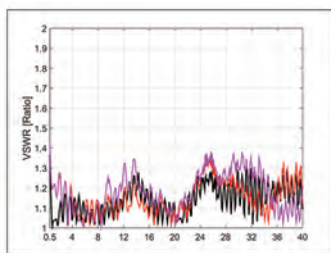
低插损

高隔离

- 超宽工作频率：0.5~40GHz
- 多种接头可选，提供多频段工程定制
- 满足国军标（GJB150）环境标准
- 优异的幅度/相位平衡
- 高功率处理能力



—— 功率分配器/合成器测试曲线 ——
(P02N005400)



型号	路数	公共端驻波	分支端驻波	插入损耗*	幅度平衡	相位平衡	隔离度
		Max. (:1)		Max. (dB)		Max. (Deg.)	Min. (dB)
P02N005400	2	1.6	1.6	3.5	±0.5	±6	16
P04N005400	4	1.7	1.7	7.5	±0.5	±7	15
P08N005400	8	1.8	1.8	11	±0.8	±12	15

* 不包含理论分配损耗

2路功分器 3dB; 4路功分器 6dB; 8路功分器 9dB

迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

福州迈可博电子科技股份有限公司
电话：400-918-0388
邮箱：sales@micable.cn
网址：www.micable.cn

经销商：伟博电讯有限公司
电话：400-887-3088
邮箱：sales@mitron.cn
网址：www.mitron.cn

的0.1w相比)，选择了一个4w功率放大器，但驱动功率保持在不超过1w，以降低带内谐波和降低相干噪声。

使用X-Microwave积木块的一个要求是使组件链中的相邻载波与其对应的GSG跳线之间精确对准。为了更好地理解以及预测失调对互连性能的影响，采用全波电磁仿真，包括参数分析，让其中GSG跳线的水平位置从0（完全对准）到6 mils（严重失调）。当对准距离标称值在3mils以内时，透射系数和反射系数超过20GHz时均表现良好。在实践中，互连的对准是通过使用内置在载板中的对准标记并在高倍显微镜下安装来实现的。模块组安装在定制夹具中，同时直流电源电路安装在背面。有源偏置芯片确保了GaN放大器的正确功率顺序。无源增益均衡器和表面贴装衰减器改善了作为频率函数的增益和回波损耗。图4显示了组装好的发射机和接收机模块。

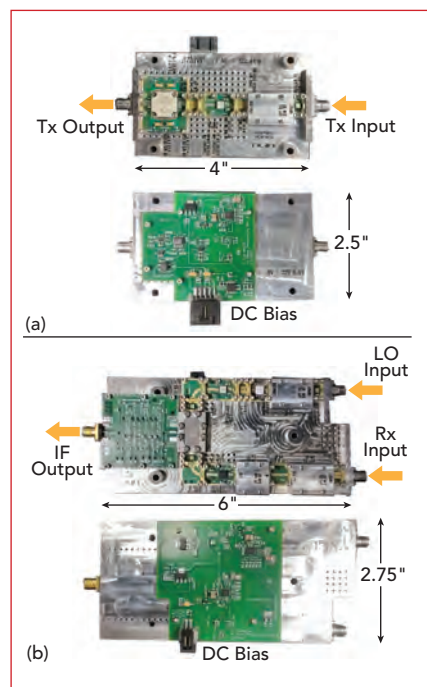


图4：Tx发射模块（a）和Rx接收模块（b）。

性能

采用多端口矢量网络分析仪对发射机和接收机进行测试。发射机的性能可通过测量其散射参数得到验证。图5a显示了测量的发射机增益，表明与连接系统相比增加了约10dB。这是意料之中的，因为模块化发射机被设计为在相同的输入驱动器上有10倍的输出功率。整个频带的增益变化也在意料之中，这主要是由于功率放大器良好的频率响应。

对于接收机，采用固定中频的频率偏移模式来模拟FMCW工作状态。射频范围设置为覆盖从1至19GHz，包括雷达数字化仪支持的四个频段内四个不同的中频频率：直流至125、125至250、250至375和375至500 MHz。图5b显示了中频频率为100 MHz的接收机的测量转换增益。对其它几个中频频率的响应也几乎相同。而连接式测试台接收器的响应可供参考。在频带的上下两端，衰减的

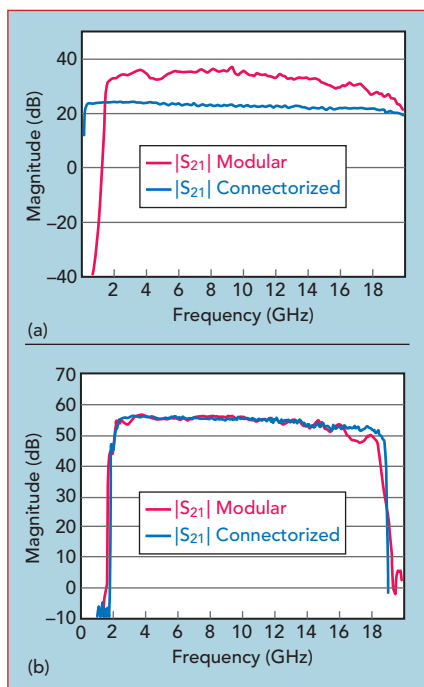


图5：测得的Tx插入增益（a）和Rx转换增益（b）。

细微差别是由于滤波器响应的细微差别造成的；这些变化对雷达性能的影响几乎可以忽略不计。

试验台测试

利用带有1.72μs光纤延迟线的光电收发器对集成到雷达系统中的模块进行了测试。利用发射机和接收机之间的延迟线模拟850英尺固定范围内的单个目标，用于评估雷达的脉冲响应和灵敏度。利用信号路径中的同轴衰减器模拟远程信号所经历的大功率损耗，总计90dB。在机载相干平均后，接收机的中频输出经过雷达数据采集系统数字化，并在快速傅氏变换(FFT)前对记录的时域样本应用汉宁窗函数，以获得一组功率与距离的关系曲线（见图6）。

图6a中的两条轨迹来自具有相同低功率发射机的模块式和连接式接收机。为了方便比较，无论是距离还是幅度都经过统一的标准化处理。图中可以看到，两种情况下的雷达回波都在噪声上方约60dB处被检测到，环路灵敏度则达到了150dB。响应中的主瓣宽度约为0.55英寸（1.4厘米）。在此两种情况下，其距离分辨率均与16GHz带宽加汉宁窗时的预期相符合，同样，正如汉宁平滑法所预期的那样，两种情况下的旁瓣范围也都很小。另外请注意模块化接收机主响应周围的“裙部”的改进，这表明了其卓越的线性度和优异的相位噪声性能。这都是采用更高的集成度并使用超线性啁啾发生器和低相位噪声的LO驱动器放大器所期望看到的结果。

图6b显示了较高功率模块化发射机的性能。在这里，该系统的信噪比提高了10分贝，因此总的环路灵敏度为160分贝。主瓣的宽度、距离分辨率和低前缘副瓣得以保留。响应的不对称性和稍大的后缘副瓣归因于前面所说的发射机增益变化。虽然这种变化会对雷达的系统响应产生不利影响，但由于发射功率的增加而增加了额外的灵敏度，这一优势将被抵消。系统增益波动通常可以在后处理中校正。

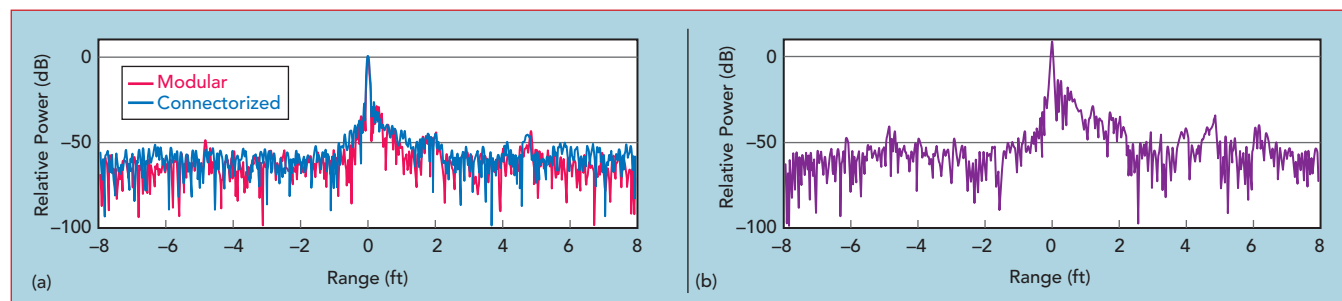


图6：带有相同低功率发射机的模块式以及连接式接收机（a）和带有较高功率发射机的模块式接收机（b）测得的雷达响应曲线。

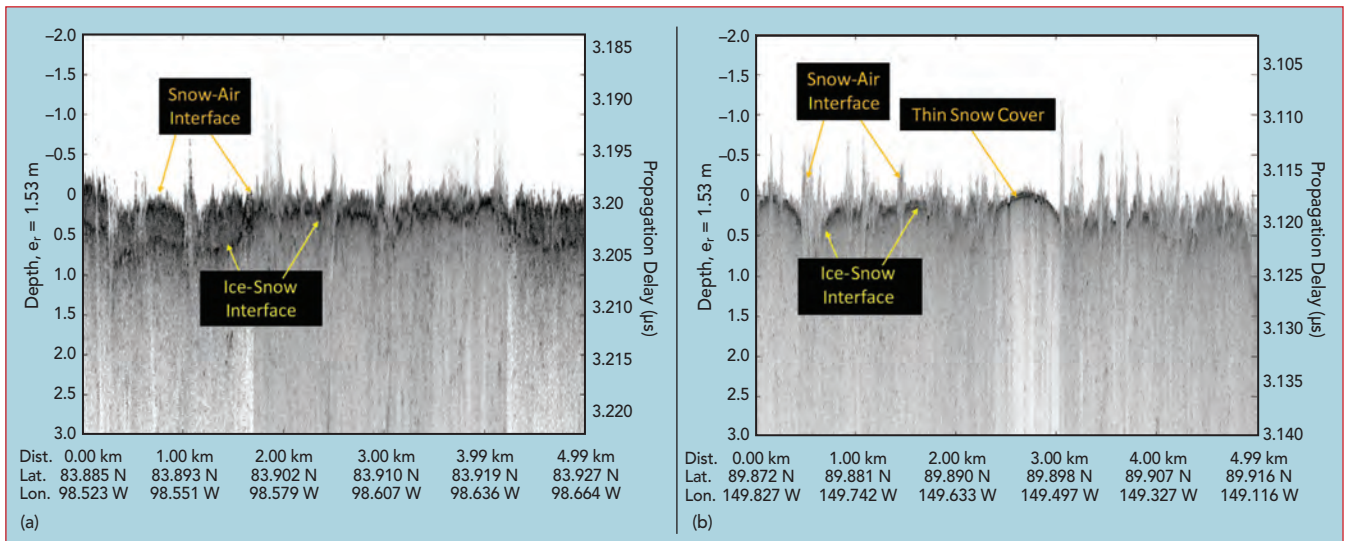


图7: 在北极上空飞行测试得到的具有精细垂直分辨率的图像, 显示北极海冰上有厚 (a) 和薄 (b) 的积雪。

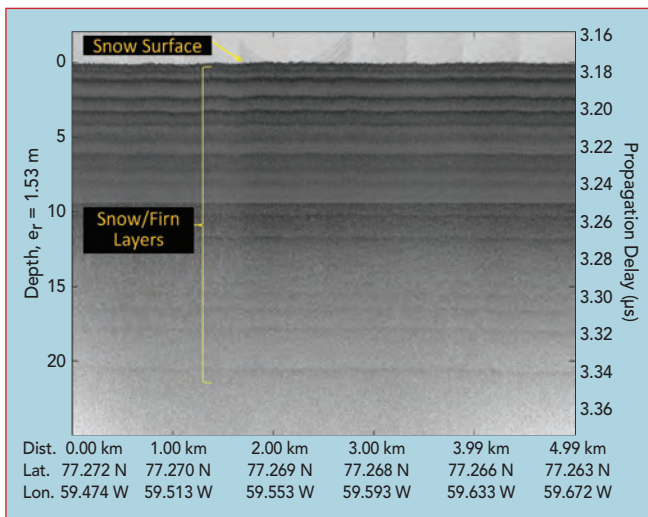


图8: 格陵兰冰面的回声图数据显示雪在地表以下20米内堆积。

实地测试

作为美国航天局冰桥行动 (NASA Operation IceBridge) 的一部分, 2018年对安装在美国航天局P-3飞机上的整套雷达系统进行了实地测试。发射机和接收机模块被安装在一个小型机架式机箱内, 与系统其余部分协同工作, 工作频率覆盖2至18 GHz。天线安装在飞机的“炸弹舱”, 通过低损耗同轴电缆与雷达连接。在离地面1500英尺的高度测试并记录下了距离剖面图。图7显示了在北极附近两个5公里飞行段收集的数据中得到的不同海冰断面的雷达图像样本, 对覆盖于冰面上的大于50厘米的厚雪和小于5厘米的薄雪, 雷达充分展示了分辨空气-雪和雪-冰之间界面的能力。图8是从格陵兰冰原上收集的数据产生的回声图, 显示了每年积雪变化的情况。■

致谢

作者非常感谢University of Kansas的J. Paden博士提供的雷达图片以及X-Microwave的J. Richardson先生提供有价值的技术支持。

参考文献

1. T. Barret, "History of Ultra Wideband Communications and Radar: Part II, UWB Radars and Sensors," *Microwave Journal*, Vol. 44, No. 2, February 2001, pp. 22–52.
2. A. D. Pitcher, J. J. McCombe, E. A. Eveleigh and N. K. Nikolova, "Compact Transmitter for Pulsed-Radar Detection of On-Body Concealed Weapons," *IEEE International Microwave Symposium Proceedings*, June 2018, pp. 919–922.
3. M. Oyan, S. E. Hamran, L. Damsgård and T. Berg, "Compact Airborne C-Band Radar Sounder," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 10, October 2014, pp. 6323–6332.
4. C. Wamsley, D. Draper, T. Pett and S. Roark, "Synthetic Aperture Radar for Pipeline Right-of-Way Monitoring," *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV*, September 2018.
5. Y. Kim, T. J. Reck, M. Alonso-delPino, T. Painter, H. P. Marshall, E. H. Bair, J. Dozier, G. Chattopadhyay, K. N. Liou, M. C. F. Chang and A. Tang, "A Ku-Band CMOS FMCW Radar Transceiver for Snowpack Remote Sensing," *IEEE Transactions on Microwave Theory Techniques*, Vol. 66, No. 5, May 2018, pp. 2480–2494.
6. J. B. Yan, S. Gogineni, F. Rodriguez-Morales, D. Gomez-Garcia, J. Paden, C. J. Leuschen, D. A. Braaten, J. A. Richter-Menge, S. L. Farrell, J. Brozena and R. D. Hale, "Airborne Measurements of Snow Thickness Using Ultrawide-Band Frequency-Modulated-Continuous-Wave Radars," *IEEE Geoscience Remote Sensing Magazine*, Vol. 5, No. 2, June 2017, pp. 57–76.
7. J. McDaniel, J. B. Yan and S. Gogineni, "Design, Integration and Miniaturization of a Multichannel UWB Snow Radar Receiver," *Microwave Journal*, Vol. 59, No. 5, May 2016.
8. X-Microwave LLC, www.xmicrowave.com/.
9. F. R. Morales, C. Leuschen, C. Carabajal, A. Wolf and S. Garrison, "Measurements of Snow Cover Using An Improved UWB 2-18 GHz Airborne Radar Testbed," *Proceedings of the IEEE Radar Conference*, April 2018.
10. J. McDaniel, "Design, Integration, and Miniaturization of Multichannel Ultra-Wideband Snow Radar Receiver and Passive Microwave Components, Master's Thesis," The University of Kansas, Lawrence, 2015.
11. A. Melzer, A. Onic, F. Starzer and M. Huemer, "Short-Range Leakage Cancellation in FMCW Radar Transceivers Using an Artificial On-Chip Target," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 9, No. 8, December 2015, pp. 1650–1660.
12. Monopole Antenna," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, Vol. 4, No. 4, April 2010, pp. 518–525.
13. C. Igwe, "Axial Ratio of Antenna Illuminated by an Imperfectly Circularly Polarized Source," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 35, No. 3, March 1987, pp. 339–342.
14. B. Y. Toh, R. Cahill and V. F. Fusco, "Understanding and Measuring Circular Polarization," *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, No. 3, August 2003, pp. 313–318.



微波杂志

免费下载白皮书





探索可能性
迈向5G之路

探索可能性, 迈向5G之路

- 5G: RF的未来。
- 氮化镓(GaN): 实现5G的关键技术。
- GaN: 不再只是国防领域。
- 小基站助力5G连接。
- 利用GaN技术实现5G移动通信: 为成功奠定坚实基础。

www.mwjjournalchina.com/white_paper.asp

EuMIC - EuMC - EuRAD

摘要截稿日期：2020年2月14日

欧洲顶级 射频、微波与 雷达盛会！

Holland Welcomes You

荷兰欢迎您

从下列城市可直达阿姆斯特丹史基浦机场 (AMS)：

北京 (PEK)、香港 (HKG)、上海 (PVG)、
成都 (CTU)、杭州 (HGH)、厦门 (XMN)、
广州 (CAN)、台北 (TPE)

**EUROPEAN
MICROWAVE WEEK**

荷兰·乌特勒支

JAARBEURS国际会议中心

2020年9月13日-18日

www.eumweek.com



www.eumweek.com



**EuMIC
2020**

第十五届欧洲微波集成电路会议

2020年9月14日-15日

会议主题：器件及电路建模与仿真；射频与微波技术、器件和集成电路工艺；电路设计和相关应用

如果您对微波与射频微电子器件和集成电路等议题感兴趣，2020年第十五届欧洲微波集成电路会议将是您了解“无线技术变革”，掌握业界最新进展，以及面对面同产业界、学术界国际知名专家交流的难得时刻。



第五十届欧洲微波会议

2020年9月15日-17日

会议主题：射频微波无源及有源器件；电磁场与电路分析、仿真、测量及建模技术；电波传播与天线技术；射频微波系统与应用

您是射频微波系统与技术业内人士吗？您想了解微波技术最新进展，或者与同行分享并讨论您的研究结果吗？欢迎您参加2020年第五十届欧洲微波会议！本会议是欧洲微波、毫米波、太赫兹器件、系统和技术的旗舰会议。



**EUROPEAN
MICROWAVE
WEEK**
荷兰·乌特勒支
JAARBEURS国际会议中心
2020年9月13日-18日
www.eumweek.com



第十七届欧洲雷达会议

2020年9月16日-18日

会议主题：雷达子系统与雷达现象；雷达信号与数据处理；雷达架构与系统；雷达应用

2020年第十七届欧洲雷达会议旨在跟踪雷达业内最近进展以及促成产业界、学术界国际专家对话。届时将有来自世界各地的雷达学者、设计师共同推动发展新的产品服务趋势。会议更补充了量身定制的课程和研讨会。

www.eumweek.com

签证

有关签证信息，请联络：

visa@eumw2020.org

S参数测量中的不确定度表征

Characterizing Measurement Uncertainty in S-parameter Measurements

Tekamul Buber, Pragti Narang, Giampiero Esposito and Sathya Padmanabhan
Maury Microwave, Ontario, Calif.
Markus Zeier
Federal Institute of Metrology (METAS), Berne-Wabern, Switzerland

有人可能会问为什么工程师应该在他们的S参数测量实践中增加不确定度测量，尤其是迄今为止工程师们已经习惯了忽略不确定度的问题。这个疑问很大程度上可用技术的进步来回答：随着新技术的出现以及随之作为标准的引入、产品的规格和要求越来越严苛，尤其是在工作频率越来越高的情形下。这种趋势不仅体现在系统层面上，在组件级（包括放大器，滤波器和定向耦合器）也可以明显看到。因此负责设计和生产这些组件的工程师也需要相应地提高他们开展的测量和产品表征的可信度。

想象一下如下场景：一名工程师需要设计一个放大器，要求在整个频率带宽上增益不小于规定最小值。放大器在测量后发现符合了规格。然而几个小时后，放大器被再次测量时，发现它在频带的高端不满足规格了（见图1）。为什么放大器会变得不符合规格呢？原因可能有很多种：例如测量系统的漂移、实验室中某人移动或损坏了测量设置中的一根电缆等等各种各样的可能性，甚至问题可能出在产品的设计、制造过程中或工作时有稳定性缺陷。

如果那么容易出现两次测量获得不同结果的情况，那么如何知道哪次测量是正确的呢？这种困惑是由于没有在表征过程中包含测量中的不确定度，最终导致整体上对测试结果缺乏信心。仔细的工程师会在进行测量之前，使用各种方法来验证测试设置的正确性。更加谨慎

的用户会采用测试“标准器件”的确认方法。这些标准器件通常具有与实际需要测试的器件（DUT）相似的特性。采用该方法并以组织内部的指导性判据或原则来判断数据是否足够可靠。虽然这是朝正确方向迈出的一步，但问题是如何定义这些指导性判据呢？这些判据是真正客观的，还是含有内在的主观性？多接近真实值才算足够近？不确定度分析是一个功能强大的工具，它使用户既可以验证矢量网络分析仪（VNA）的校准效果，又可以在进行测量之前正确定义标准器件的度量标准。图2通过同时给出该放大器增益测量结果，以及绘出测试系统具有的不确定度，来展示了这个概念。

不确定度

无论每次多么仔细地进行测量，都会含有误差。这些误差来自仪器、测量过程或这两者兼有的缺陷。“被测量的真实值”（ a_{true} ）永远无法准确知道，并且真值实际上仅是一个理论上的概念。测量到的值称为“示值”（ a_{ind} ），真实值与测量示值之间的差异就是误差：

$$e = a_{\text{true}} - a_{\text{ind}} \quad (1)$$

由于真实值是不可知的，因此测量中的确切误差 e 也不可知。误差分为两种：

系统误差：在重复测量中，这部分误差保持恒定或有规律地变化，并且可以对其进行建模、测量和估计，在一定情况下可对其进行一

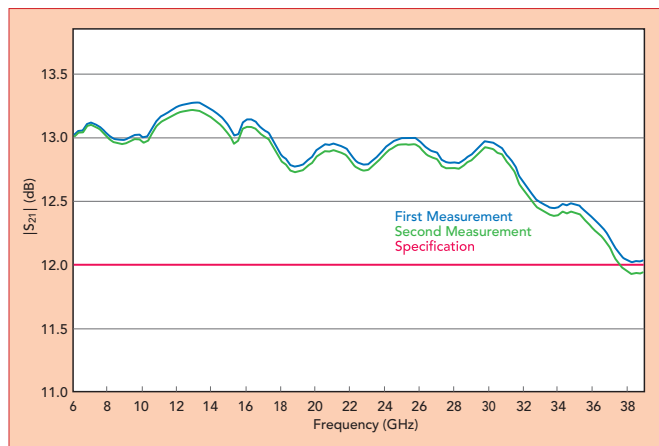


图1：放大器增益两次测量的结果：第一次结果在设计规格范围内，第二次结果则在频率高端处超出了指标可接受范围。

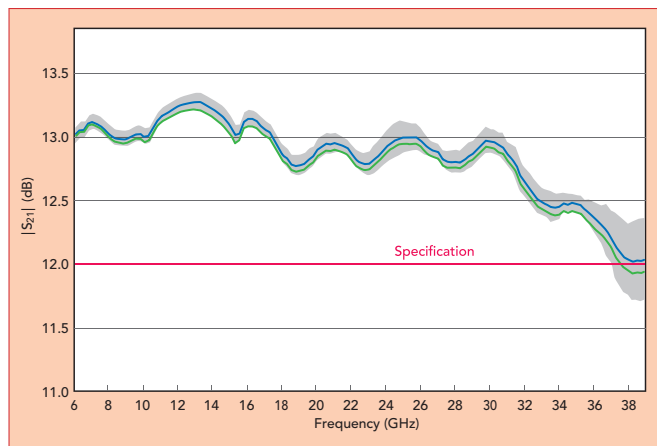


图2：使用Maury MW Insight软件计算的放大器增益测量不确定度。

LTCC 滤波器



业内**最多**的选择!

- ▶ **300**多种型号，常备现货!
- ▶ 封装小至0202
- ▶ 抑制高达52dB
- ▶ 陡峭的裙边带抑制



Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在!



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

www.minicircuits.com

P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003
(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.

Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址: 福建省福州市349信箱

全国免费服务热线: 400-887-3088

E-mail: sales@mitron.cn

邮编: 350003

传真: 0591-87870011

网址: www.mitron.cn



更多产品资讯
关注伟博电讯公众号

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

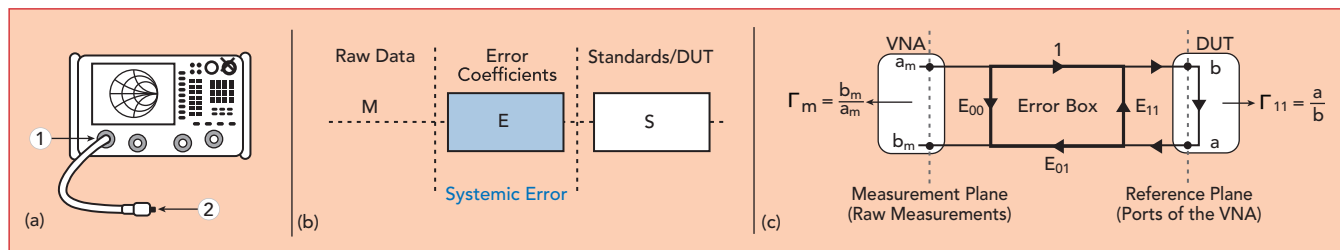


图3: 单端口测量中的硬件设置 (a)、系统误差模型 (b) 和信号流图 (c)。

定程度的校正¹。校正后剩余的系统误差则是未知的，也需要在不确定度中加以考虑。

随机误差：该部分误差在重复测量中会以不可预测的方式变化²。随机误差的来源有多种，例如温度变化、噪声或操作员行为的随机影响。虽然有办法减小随机误差（例如通过更好地控制测量条件），但无法对其进行校正。然而其大小还是可以通过对重复测量进行统计分析来估计的。并且可以从统计分析结果中确认不确定度。

测量通常受随机和系统误差的组合影响，因此要对不确定度恰当地进行评估，需要对不同的贡献成分进行表征。需要建立一个测量模型来将各个影响因素与测量结果联系起来³。提出一种足够接近现实的测量模型通常是不确定度评估中最困难的环节。通过在测量模型中传播不确定度以获得最终结果只算一项普通技术任务，即使有时这个过程相当精细繁杂。最终得到的测量结果通常表示为一个被测量的单个取值或估计值（即带有单位的具体数值）和相关的测量不确定度 u 。此处描述的过程是“测量不确定度的表示指南”（GUM）⁴提倡的，而GUM是评估测量不确定度的权威指南。

S参数和矢量网络分析仪校准

这些概念如何应用于S参数测量？回想一下定义，S参数是入射（伪）波（用 a 表示）和反射（伪）波（用 b 表示）的比率：

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}, S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2)$$

S参数的定义暗含了参考阻抗的定义。用于测量S参数的最常见的工具是VNA（矢量网络分析仪）。尽管存在不同的VNA架构，但用于两端口测量时最常见的版本使用三个或四个接收机⁵⁻⁷。

为了简化对该主题的理解，这里只考虑单端口VNA测量（参见图3）。如文献7所展示，可以通过归纳法获得两端口或更一般的N端口测量时的情况。图3a显示了一种典型的测试设置，其中VNA、电缆和连接器被用作测量系统来测量DUT。为了评估S参数测量中的不确定度，首先需要建立一个测量模型。用其描述输出变量、明确定义的端口（即参考平面）处的人射波和反射波之间的关系、以及VNA显示屏上的示值（即VNA接收机的原始电压读数）。这些模型应包括系统误差和随机误差，以增加结果的可信度。不正确的系统误差估计会导致测量不准确。另一方面，对随机误差的错误估计会降低结果的准确性，或者在结果不正确时却显示结果是准确的。

经典VNA误差模型

VNA测量中受到与信号损失和泄漏有关的很大的系统误差的影响，而且这些误差是不可避免的并且是现有测量技术中所固有的。根据这些系统误差可以建立示值（实测）

$$\Gamma_m = \frac{b_m}{a_m}$$

和图3c的信号流图所示的参考平面上的S参数之间的关系。

$$\Gamma_{11} = \frac{b}{a}$$

误差框由三个误差系数组成：方向性误差（ E_{00} ），源匹配误差（ E_{11} ）和反射跟踪误差（ E_{01} ）。通过这三个未知误差系数，可以将图3b中的图形表示的关系转换为示值和参考平面上S参数之间的双线性函数。为了估计该模型的这些未知误差系数，在单端口的情况，必须测量三个已知的校准标准件。如果是多端口情况，则需要更多的标准件。在得到误差系数的估计之后，就可以校正任何后续测量中的原始数据（即示值）。此技术通常称为VNA校准和VNA误差校正。

目前已发展出各种不同的校准方法来估计误差系数。其中一些方法要求对校准标准件进行全面表征，例如短路-开路-负载法（SOL）或短路-开路-负载-直通法（SOLT），而另一些方法则仅需要进行部分表征，例如直通-传输线-反射（TRL）、短路-开路-负载-反直通法（SOLR）和传输线-反射-匹配法（LRM）⁸。即使对校准标准件进行了表征，也无法达到完美表征，并且表征有关的误差（包括方向性、源匹配、反射跟踪误差）也会增加估计误差系数的不准确性。

工程师们已经开发出各种实验技术来估计这些残留误差（即残留方向性、残留源匹配和残留反射跟踪误差）。将端接了反射标准件的无支撑空气线（beadless airline）连接到校准端口时，可以使得残留误差以频变反射的叠加形式被观测到。在频域中这些叠加意味着反射系数会出现纹波现象（参见图4）。由于频率响应中会出现这种很有特点的图形，该方法又被称为“纹波方法”，其中纹波的幅度可用于估计与方向性和源匹配有关的残留误差和不确定度。这种方法有多种缺点，例如：无法确定误差模型中跟踪项的残留误差，而且需要使用空气介质线，并且随着频率的增加，这种方法变得不切实际⁷。

可根据经验使用残留误差来建立对测量结果的信心。而

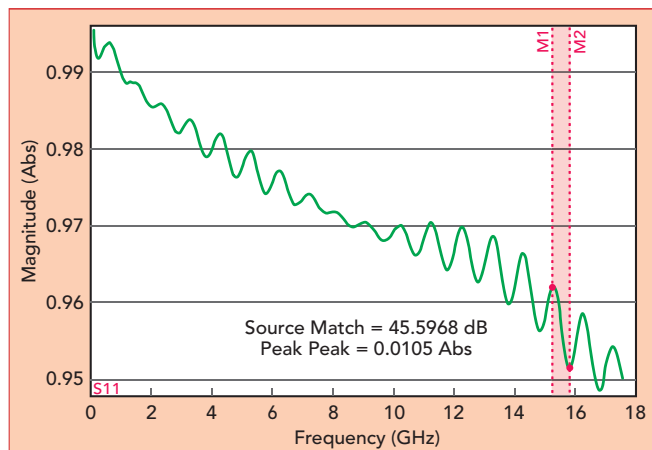


图4: 使用Maury MW Insight软件进行单端口校准后的源匹配特性。

LTCC

宽带变压器&巴伦

240 MHz–18 GHz

- 封装小至0603
- 功率高达3W
- 适用于严苛环境的牢固结构
- 优越的可重复性



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED
www.minicircuits.com
P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003
(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.
Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国
总部地址：福建省福州市349信箱 邮编：350003
全国免费服务热线：400-887-3088 传真：0591-87870011
E-mail: sales@mitron.cn 网址: www.mitron.cn



更多产品资讯
关注伟博电讯公众号

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

面临的挑战是在测量诸如具有36dB回波损耗的DUT时,要理解45dB的残余指向性误差代表什么含义。但使用波纹法进行估算得到的误差系数的不确定度并不可靠,并且也不足以在测量结果中获得充分的置信度。因此经典的VNA误差模型是不完备的,也无法在执行VNA校准和VNA误差修正的同时实现不确定度评估。

在经典VNA误差模型中考虑不确定度

本节说明如何通过添加影响测量的其他因素来将经典的VNA误差模型扩展为完整的测量模型。使用这样一个完整模型,就可以用直接且概念清晰的方法来评估不确定度。从校准参考平面到接收机读数参考面之间的测量装置包含多个误差源和影响总不确定度的因素。经典的VNA误差模型把这些因素包括进去,从而可以扩展成为完整的测量模型。典型的组成因素包括VNA(例如线性度、噪声和漂移)、电缆、连接器和校准件。欧洲国家计量协会(EURAMET)推荐使用图5所示的模型,其中传统误差系数由E方块表示,其他影响因子由R、D和C方块表示^{7,9}。图中的完整模型仅包含组成模块,而使用信号流图可对其进行进一步完善的描述。在不赘述这些模型的细节的情况下,下文将对主要误差及其相关的信号流图进行讨论。

电缆和接头

在参考平面和接收机测量平面之间使用电缆连接,因此电缆也需要包含在校准中。它们会受到环境变化以及对电缆的移动和弯折的影响。在校准或DUT测量期间移动或弯曲了电缆的话,误差系数通常会发生变化。如图6a所示的电缆模型中使用了两个参数:电缆传输系数(CA_T)和电缆反射系数(CA_R)。虽然电缆供应商通常在电缆组件的数据表

中给出了这些值,但还是应针对电缆在校准和测量过程中的典型弯曲或移动范围来进行表征⁷。

同理,用于连接和断开校准标准件和DUT的连接头也会影响参考平面,具体取决于接头中的针和指的设计与制造的可重复性。每次连接、断开和重新连接时,连接头的S参数响应都不同,对此可用一个连接器重复性(CO_R)来描述。

VNA

VNA中的接收机在高输入功率水平下往往会偏离线性行为。非线性本质上是一个系统误差,因此可以使用适当的非线性模型进行校正。由于每个接收机的非线性行为都可能不同,并且对每个接收机分别进行建模是不切实际的。因此这里采用线性模型(在图6b中表示为L)来近似表示非线性。

噪声是一个随机误差,会导致VNA读数中包含不可预测的波动。噪声分为本底噪声(N_L)和迹线噪声(N_H)两种。在没有任何源信号输入的情况下观察到的是本底噪声,而迹线噪声则随着所施加的源信号电平一同增加。

由于温度和其他环境因素的影响,会导致整个测量系统的性能出现随时间的漂移变化。如图6b所示,可用一个简单的模型将漂移值(D_{00} 、 D_{11} 、 D_{01})与每个误差项关联起来。

校准标准件

校准标准件也需要表征,并将其不确定度包括在如图5所示的方框S中。根据所需的精度水平的高低不同,可以分别从制造商、校准实验室或国家计量机构等渠道获得,而这些表征结果都溯源至SI单位¹⁰。实践已证明如果在表征中考虑接头的影响,可以使得同轴校准标准件的标准结果更准确、更一致¹¹。在进行VNA校准以估计误差系数时,这些不

表1 图7不确定度贡献表

来源	幅度 ($\times 10^{-3}$)	百分比 (%)
VNA本底噪声	1.145	0.104
VNA迹线噪声	4.520	1.615
VNA线性度	7.163	4.056
VNA漂移跟踪	0.5132	0.021
VNA漂移对称性	0.5444	0.023
电缆传输	33.26	87.47
电缆反射	8.630	5.887
接头反射	3.227	0.823

确定性会与其他对误差系数的影响一起在模型中传播。

一旦对所有误差和影响的来源完成了建模和估计,就可以进行VNA校准和误差修正。不确定性的贡献会通过整个测量模型传播到测量结果中。如果满足以下条件,则足以认为测量结果具有高可信度:

- 所有重大误差和影响来源均包含在误差模型中(请参阅前面描述的误差模型)。
- 实际可靠地估算了误差来源,即根据实际测量条件对这些误差进行表征;尤其是在某些情况下,供应商提供的规格参数可能不够用。
- 准确表征了校准标准件,并得到实际可靠的不确定度。

大多数测量设置通常都满足第一个条件。第二个主要取决于测试操作人员对不确定性的估计,而第三个取决于标准件表征结果的来源。

使用这种方法将使工程师能够选择为不确定度留的裕量,以及判断对总不确定度的主要贡献因素。这是一个功能强大的工具,因为如果遇到了不确定度很大的情况,它将指示在何处提高系统精度。放大器测量的例子(参见图7和表1)可以很好地说明这一点。其中电缆的稳定性和连接器的可重复性占总不确定度的90%以上。

验证和确认工具

有多种方法和技术可用于验证校准的好坏。一些方法使用T型校验件(T-checker)或Beatty标准,另一些则使用预先表征好的验证标准件。校准的质量可能存在缺陷,因为有可能遇到各种预料之外的误差来源,例如校准时把校准件搞混、用了错误的标准件、使用了损坏的标准件和电缆、接头没有上紧、或由于环境的变化而引起的系统突然出现的噪声。由于表征通常不会考虑

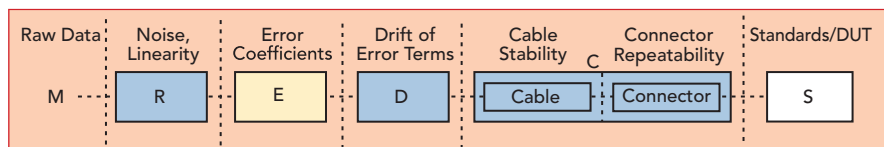


图5: VNA测量模型。

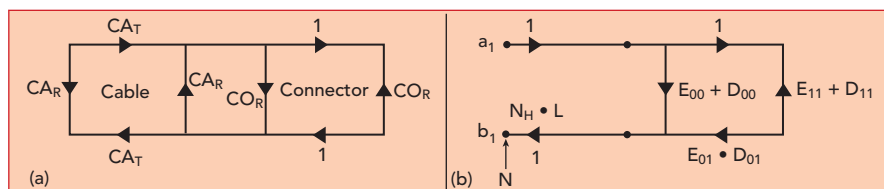


图6: 电缆和接头的模型 (a) 以及VNA噪声、线性度和漂移 (b) 的模型。

DARE!!

EMC 系统解决方案专家



连续波功率计



无线宽带信号功率计



脉冲功率计

RadiPower® 6/18 GHz RF功率计

频率最低扩展至4kHz

连续波功率计

特点:

- 高速采样1M/s
- 高动态范围>65dB
- 高测量精度低至0.15dB
- USB接口控制

RadiPower® 探头	RPR2006C(#010)		RPR2018C
Detector type	Log detector		
Measurement function	RMS CW power, Peak power (Max.hold)		
Frequency range	4 kHz ~ 9 kHz	9 kHz ~ 6 GHz	80 MHz ~ 18 GHz
Power measuring range	-40 dBm ~ +10 dBm	-55 dBm up ~ +10 dBm (Usable ~ -60 dBm)	-45 dBm up ~ +10 dBm (Usable ~ -50 dBm)

无线宽带信号功率计

特点:

- 高速采样5M/s
- 测试图形可存储
- 可测试4G/5G、WIFI
蓝牙宽带信号
- USB接口控制

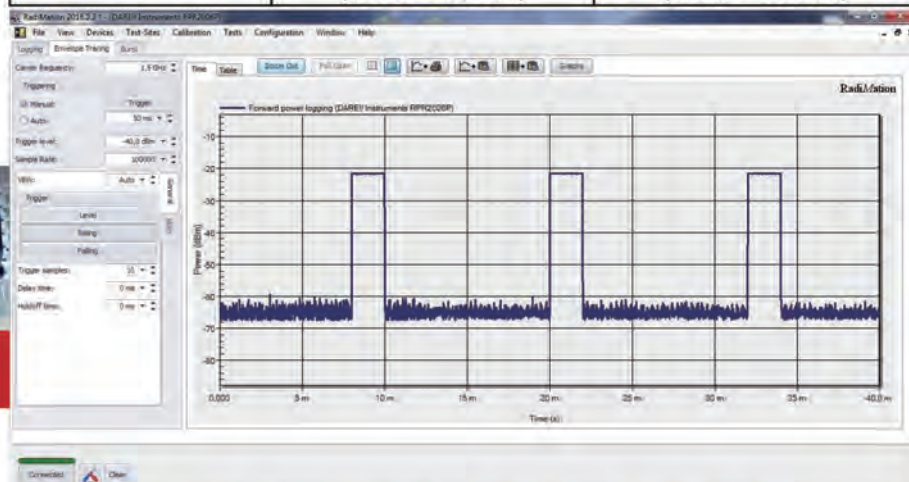
RadiPower® 探头	RPR3006W
Detector type	RMS Log detector
Measurement function	RMS CW power, peak (Max.hold) and Burst mode
Frequency range	10MHz ~ 6 GHz
Power measuring range	-50 dBm ~ +10 dBm

脉冲功率计

特点:

- 高速采样1M/s
- 最小测量脉宽2us
- 测试图形可存储
- USB接口控制

RadiPower® 探头	RPR2006P	RPR2018P
Detector type	Log detector	
Measurement function	RMS CW power, Peak power (Max.hold) and Envelop Tracing mode	
Frequency range	9 kHz ~ 6 GHz	80 MHz ~ 18 GHz
Power measuring range	-55 dBm ~ +10 dBm (Usable ~ -60 dBm)	-45 dBm ~ +10 dBm (Usable ~ -50 dBm)



www.dare.eu

Mitron 伟博电讯 把最好的微波射频产品带给中国

销售热线: 400-887-3088

传真: 0591-87870011

E-mail: sales@mitron.cn

网站: www.mitron.cn

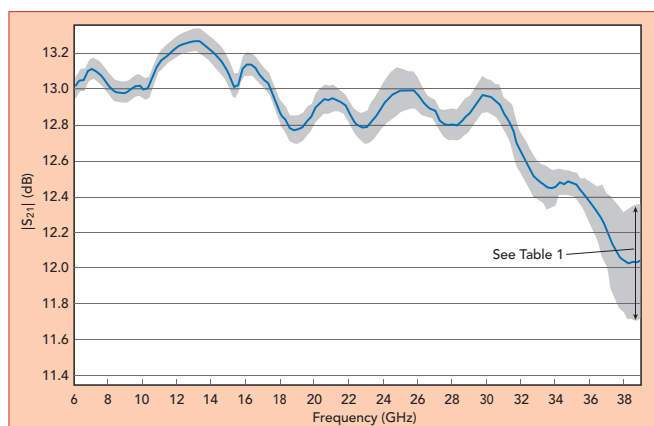


图7: 使用Maury MW Insight软件计算的放大器增益测量的总不确定性。

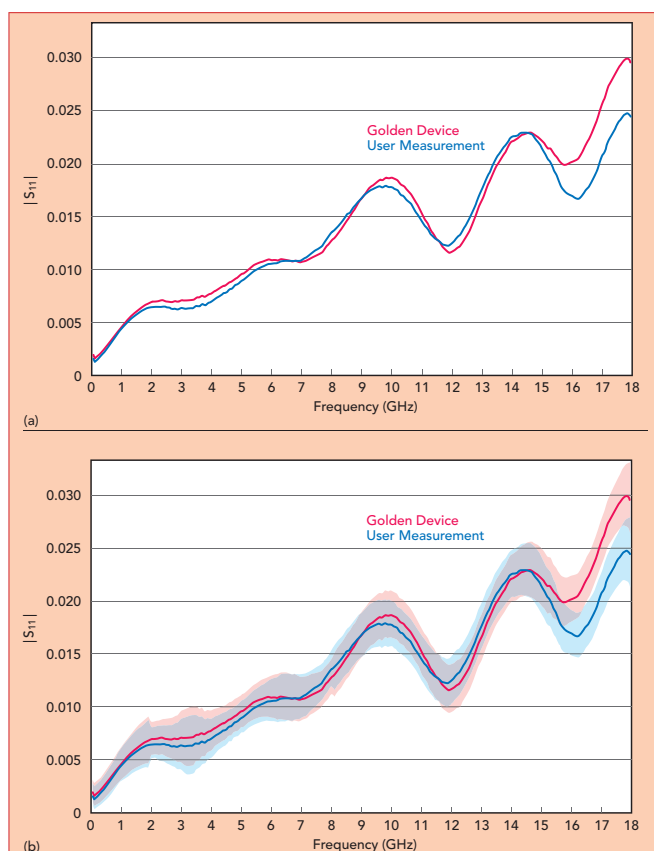


图8: 表征器件和用户测量结果的比较 (a); 相同数据的叠加显示了测量不确定性 (b)。

这些影响颇大的不确定性因素, 因此不确定度预算中不会计入这些误差, 因此会降低校准质量从而降低测量精度。

本节主要介绍验证器件, 因为使用它们后可以对校准精度做验证并估算可达到的精度水平。根据国际计量词汇表 (VIM) 定义¹², 所谓验证是指提供了客观证据来表明校准符合了指定要求。然而这些要求是可以较为随意地指定的, 因此比验证更重要的是确认¹³。所谓确认是指验证这些指定的要求足以用来测量想测量的器件。

当前大多数的验证器件都没有表征好的不确定度, 因而用户很难为确认环节指定适当的要求。在大多数情况下, 用户只能将参考特性与实际测量值进行比较, 并估计两者的接近

程度。这是种相当主观的方法, 如判断图8a显示的幅度上的差异。问题是这样判别一下是否就足够了。如果结果中包括了不确定度, 则用户可以按以下方式更系统地和定量地进行评估:

- 选择一个以前表征过且具有不确定度的验证标准件, 并且该标准件是这一类测量中具有代表性的。例如单端口的低反射测量, 可以选择一个不同于校准标准件的固定负载。
- 通过以下步骤确认当前搭建的测试设置的不确定性是否过大: 1) 将该测试设置所得的不确定度与验证器件制造商提供的不确定度进行比较; 2) 将该测试设置的置信度95%的不确定度与DUT的设计容限进行比较。按照95%置信区间扩大的不确定度应始终小于设计公差; 3) 如果不确定性不满足上述两个条件, 则需要重新评估用于校准的VNA、电缆、连接头和校准套件。
- 最终可用归一化误差完成确认⁷, 该误差的标量版本由以下方式定义:

$$e = \frac{1}{1.96} \frac{|\hat{d}|}{u(\hat{d})} \quad (3)$$

其中 d 是测量器件和验证器件之间差异的估计值, 而 u (d) 是差异值的标准不确定度估计。系数1.96代表95%的覆盖条件, 而这在合格评定中是很常见的。图8b显示了和图8a相同的放大器测量结果的不确定度。两个不确定度重叠不足的区域会导致 $e > 1$, 这表示验证失败。

结论

随着技术的发展, 各种要求变得越来越具有挑战性, 因此采用能够提高测量置信度、能确保准确可靠表征和确保产品性能的测量过程变得至关重要。表征和量化测量不确定度就是达到上述目标的一种方法。不确定度分析有助于在测量DUT之前确定性地验证VNA校准的质量。不确定度有助于理解测量系统中的各个组件如何影响DUT测量的总不确定度。在测试设置中识别、量化和减少不确定度的主要来源, 将提高测量的整体准确性。参照图1所示的最初的放大器测试场景, 量化测量中的不确定度可以让测试人员充分相信测量结果反映了DUT的真实性能, 并且该设计不会在测试中出现时而通过、时而失败的情形。■

参考文献

1. Clause 2.17, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.
2. Clause 2.19, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.
3. Clause 2.48, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.
4. Evaluation of Measurement Data, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," JCGM 100:2008, www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html.
5. M. Hiebel, "Fundamentals of Vector Network Analysis," Rohde & Schwarz, 2007.
6. J. P. Dunsmore, "Handbook of Microwave Component Measurements," 2014.
7. M. Zeier, D. Allal and R. Judaschke, "Guidelines on the Evaluation of Vector Network Analyzers (VNA), EURAMET Calibration Guide, No. 12, Version 3, 2018, www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines/.
8. "Improving Calibration Accuracy and Speed with Characterized Calibration Standards," Maury Microwave App Note 5C-090.
9. M. Zeier, J. Hoffmann, J. Ruefenacht and M. Wollensack, "Contemporary Evaluation of Measurement Uncertainties in Vector Network Analysis," Cal Lab Magazine, October-December 2018, pp. 22-31, www.callabmag.com/contemporary-evaluation-of-measurement-uncertainties-in-vector-network-analysis/.
10. Clause 2.41, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.
11. M. Zeier, J. Hoffmann, P. Hürlimann, J. Rüfenacht, D. Stalder and M. Wollensack, "Establishing Traceability for the Measurement of Scattering Parameters in Coaxial Line Systems," Metrologia 55, January 2018, S23-S36.
12. Clause 2.44, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.
13. Clause 2.45, "VIM: International Vocabulary of Metrology, Third Edition," JCGM 200:2012, www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html.

注册已经开始了



2020

Electronic Design Innovation Conference

电子设计创新大会

2020年5月12-13日

国家会议中心，北京，中国

访问www.mwjjournalchina.com/edicon注册参会

- ▶ 5G/先进通信
- ▶ 毫米波技术
- ▶ 放大器设计
- ▶ 电磁兼容/电磁干扰
- ▶ 低功耗射频和物联网
- ▶ 前端设计

- ▶ 电源完整性
- ▶ 雷达和国防
- ▶ 射频和微波设计
- ▶ 信号完整性
- ▶ 仿真和建模
- ▶ 测试和测量



www.mwjjournalchina.com/edicon

减少航空航天和国防系统中微波电缆组件的EMI/RFI

Reducing EMI/RFI in Microwave Cable Assemblies for A&D Systems

Paul Pino, 戈尔公司 (W. L. Gore & Associates)

在航空航天和国防应用中，减少电磁干扰（EMI）和射频干扰（RFI）这个话题日益受到关注。消费产品通讯技术正在快速转移到空口（OTA）传输，需要在较长距离传输更多信息，推动更宽的带宽、更高的频率和更大的传输功率。电子战（EW）和雷达等国防系统都有类似的趋势，向着更高的频率和更大的功率发展，对电缆组件和电子组件的屏蔽效能也有更严格的要求。随着本已充满噪声源和干扰的射频环境变得更加拥挤，系统和组件的抗EMI和RFI性能将在系统可靠性中起着更大的作用。

EMI/RFI对电缆性能的影响

EMI是指极宽频谱上的噪声或干扰。例如，噪声源可以是在双位数范围发出低频干扰的真空吸尘器马达。RFI与RF频谱（一般从20 kHz到300 GHz）内发出的干扰有关。

对于微波电缆组件而言，EMI和RFI可以有双向的作用。如果电缆组件能够产生相当大的干扰，那么它也容易受到相当大的干扰。电缆屏蔽的目标是将噪声和干扰信号屏蔽在电

外，将期望信号保留在电缆内。当电缆组件对EMI/RFI敏感时，期望信号（通过电缆组件传播的信号）可能会受到损害，甚至由于干扰而变得难以分辨。

随着频率的增加，例如当微波应用的频率在300 MHz到300 GHz之间时，屏蔽电缆组件变得更具挑战性。更高频率的信号，加上更大的传输功率，会导致通过屏蔽泄漏所辐射的功率增加。当电子设备与电缆靠近辐射元件，此组合将增加干扰的风险。排除信号干扰问题，特别是在飞机上，是一项非常严苛的挑战（见图1）。强有效的屏蔽对系统性能起着关键的作用。

在蜂窝通信技术中，对新手机设计进行5G OTA测试时，被测器件(DUT)无需连接电缆进行测试验证。所有的测试信号在受控环境中通过OTA传输，以接近真实环境条件。在这种环境下，屏蔽效能差的微波电缆组件容易出现辐射和接收不想要的信号，这可能对设计验证产生不利影响。

电缆组件若是易受EMI/RFI影响，可能对机载EW应用产生尤其深刻的影响。现代EW系统从飞机周围的电磁环境收集大量数据，据以确定威胁类型、位置、距离和威胁程度。屏蔽效能差的电缆组件或者屏蔽效能受损的电缆组件会降低系统天线的信号以及系统识别和确定如何应对潜在威胁的能力——特别是威胁侦测的设计目标：在距离致命攻击距离还有至少2倍的地方，就侦测到威胁。

EW系统方面，考虑到这种情况，处理时间显然是关键（见图2）：一架侵略性战斗机向友军战斗机发出亚音速空对空导弹，两者迅速接近。发射时，两架战机相距4英里，收敛速度为1200 mph。按发射时间和当前的接近速度计，友军战斗机的EW系统只有不到12秒的时间识别威胁和确定行动方案，包括向飞行员显示威胁及其位置以及启动对策。对于屏蔽效能差的电缆组件，EW系统可能无法从电磁噪声和干扰的刺耳声中提取威胁信号——难度类似从全场欢呼的体育场中辨别出其中一个人的声音。



图1：排除信号干扰问题是一项挑战，尤其是在飞机上。

无反射/吸收式 滤波器

消除阻带反射



DC ~ 40 GHz

- ▶ 内部带吸收负载的专利设计
消除带外抑制信号
- ▶ 非线性电路的理想选择
- ▶ 可提供表贴/同轴SMA接头封装

Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在！



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED
www.minicircuits.com

P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003
(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.

Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址：福建省福州市349信箱

全国免费服务热线：400-887-3088

E-mail: sales@mitron.cn

邮编：350003

传真：0591-87870011

网址：www.mitron.cn





图2: 电缆组件的RF泄漏可以使EW系统侦测和应对威胁的能力下降。

减少EMI/RFI

如要解决任何技术问题，第一步是了解问题，这是通过测试和表征来实现的。戈尔公司使用最新的搅模室 (mode-stirred chamber) 技术，对其电缆组件进行屏蔽效能测试，并将这些发现整合到其电缆组件和连接器以及终端技术。屏蔽效能不仅是电缆决定的，连接器和电缆终端也是其中的一部分 (见图3)。

在军用飞机应用方面，EMI/RFI挑战可通过以下手段解决：

- 为其应用选择合适的屏蔽外壳结构；
- 在电缆安装或飞机维修可能损坏电缆的情况下，使用加固的微波电缆组件，该组件应具有经过验证的屏蔽结构，能够经受安装和维修带来的损害。
- 确保所有同轴连接器清洁，拧紧到适当的扭矩。
- 在高振动环境中使用锁紧连接器连接螺母或为锁紧线孔钻孔的连接螺母，以确保正确固定电缆。
- 在机身中安装微波电缆时勿勉强拉伸电缆；使用尺寸合适的P型夹固定电缆。
- 由于电缆放置的位置至关重要，因此勿将电缆放置在传输大功率的天线的附近。
- 在商业应用方面，指导技术人员进

行微波电缆组件的保养和处理。当使用非加固型或通用电缆组件时，这一点尤其重要，因为它们远比加固型电缆组件更加脆弱。

- 电缆屏蔽问题通常是由于处理不当而造成的。不建议反复弯曲紧邻连接器的电缆，也不要将线圈缠绕成紧密的环形存放，这会使电缆遭受不必要的磨损。
- 用塑料捆扎带捆扎电缆时，使用刚好合适的力度将其捆住；如果过紧，会产生破坏性的挤压力。
- 为了保持性能，对微波连接器进行适当的保养和维护对于保持机械和电气完整性至关重要。

选择合适的电缆和连接器

微波电缆组件通常是系统中最后一个设计的组件，通常被视为理想或接近理想的组件，因为很多人认为电缆之间的差异不大。人们通常以为，电缆只是将一个关键系统连接到另一个关键系统。但是，微波电缆组件本身就是一个关键的系统，能够导致意想不到的结果，从而可能会降低系统的性能。很少有人考虑到，不良的设计或结构会引起处理不当，在安装或使用期间对电缆造成损坏，从而降低电缆组件的性能。

系统设计师和项目经理在为其系统选择微波电缆组件时，应考虑以下事项：

- 电缆组件将暴露在什么环境条件下 (即温度、压力、湿度)？
- 电缆组件是否会受到 (手动或机械) 振动或过度弯曲的影响？
- 在温度范围内需要什么相位和损耗稳定性？
- 需要怎样的屏蔽效能，频率是多少？
- 在当前使用条件下，连接器-电缆组合将承载的预期平均功率是多少？
- 电缆的信号损耗预期是多少？VSWR的预期是多少？



图3: 电缆、连接器和电缆终端决定RF电缆组件的屏蔽效能。

- 电缆组件在使用寿命或安装过程中是否会受到粗暴的处理？如果是，请考虑使用加固型结构。
- 电缆组件是否会装在飞机的无压部分？如果是，请考虑使用密封组件，以确保在不同高度 (即气压) 下具有稳定的相位和损耗性能。
- 电缆组件会暴露在极端温度和湿气中吗？如果是，请考虑使用密封组件。
- 电缆组件会暴露在油、燃料和化学品中吗？如果是，请考虑使用密封、耐受化学品的加固型组件。
- 非加固型或通用电缆组件的成本更低，但容易损坏。选择通用组件而非加固型组件时，请仔细评估风险和节省的成本。

还要考虑为电缆组件选择的连接器，因为这会影响到组件固有的许多性能。由于连接器类型会影响电缆组件的屏蔽效能、整体RF性能和机械耐用性，因此系统设计师在初始设计过程中选择连接器类型时，应考虑以下几点，然后进行全面的测试，以确保整个连接将在预期应用中可靠运行。

- 内部组件的尺寸
- 整个连接中连接器的数量
- 连接器之间的距离
- 终端的简便性和一致性
- 噪声容限的可用性
- 所选电缆组件的连接器的电气性能

选择合适的微波电缆组件和连接器类型，使其在安装后、使用过程中以及长期应用中能始终具有一致的性能。付出的努力和任何额外的支出都是值得的，因为这将对系统的可靠性和性能有好处。■

Microwave Journal China
微波杂志

免费下载白皮书



探索可能性，迈向5G之路

- 5G: RF的未来。
- 氮化镓(GaN): 实现5G的关键技术。
- GaN: 不再只是国防领域。
- 小基站助力5G连接。
- 利用GaN技术实现5G移动通信: 为成功奠定坚实基础。

www.mwjjournalchina.com/white_paper.asp



MMIC 放大器



现在!
频率高达 **43.5 GHz**

超宽带: 22~43.5GHz

优异的增益平坦度: $\pm 0.9\text{dB}$

低噪声: 3.5dB (典型值)

内置旁路和电源关断功能

Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在!



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

www.minicircuits.com

P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003

(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.

Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址: 福建省福州市349信箱

全国免费服务热线: 400-887-3088

E-mail: sales@mitron.cn

邮编: 350003

传真: 0591-87870011

网址: www.mitron.cn





相位相干切换超低相噪多通道信号源

Ultra-Low Phase Noise, Multi-Channel Source with Phase Coherent Switching

AnaPico Ltd., www.anapico.com

仿真和测试诸如相控阵或波束成形天线之类的多天线系统，需要测试系统能够提供多路具有确定性频率和幅度的信号，并且这些信号之间具有稳定的、用户可调的相位关系。AnaPico的APMS多通道信号发生器为这些应用提供了精心设计的解决方案，封装紧凑，具有独特的相位相干信号功能。APMS40G-ULN-PHS是一款紧凑的四通道40 GHz信号发生器，可以经济高

效地满足多种新测试应用的苛刻要求。

术语

在谈论信号和相位相干性时，尽管每个术语都有非常具体的含义，但有时会互换使用各种术语。本文中使用的定义如下。

相位连续性和不连续性——如果在切换频率之后，信号的相位与发生切换之前的信号相同，则信号是相位连续的。如果切换后相位改变，则信号是相位不连续的。

相位相干性——如果两个信号之间的相位关系保持恒定，则认为两信号具有相位相干性。

相位相干切换——相位相干切换定义了频率切换完成后信号的相位状态。如果频率为 f 且相对相位为 Φ 的两个信号每当回到频率 f 时，如果相对相位再次变为 Φ ，则称为相位相干切换。

相位存储——如果信号从频率 f_1 切换到频率 f_2 再回到频率 f_1 ，该信号的相位与在 f_1 连续运行时的信号相同，则该信号具有相位存储。

相位匹配输出——如果所有输出频率具有0度的相对相位，则多通道信号发生器输出为相位匹配信号。

APMS40G-ULN-PHS

AnaPico的APMS-ULN多通道合成信号发生器已上市，频率覆盖范围高达40 GHz，并在紧凑的1U 19英寸机架安装式机箱中具有1-4个通道。它们具有较高的稳定性、相位相干性和极快的调谐速度，并且每个通道的频率、相位、幅度和调制都可以独立编程。其他优势还包括紧凑的设计、出色的相位噪声、高输出功率、输出电平准确且控制简单。

独立通道具有异常低的相位噪声和高度相关性，无论是短期还是长期的，均具有出色的相位相干性。单个单元所有通道之间共享高稳定性同步电路，采用专有技术进行精确的频率合成，即使经过数小时或数天的不间断使用，也可确

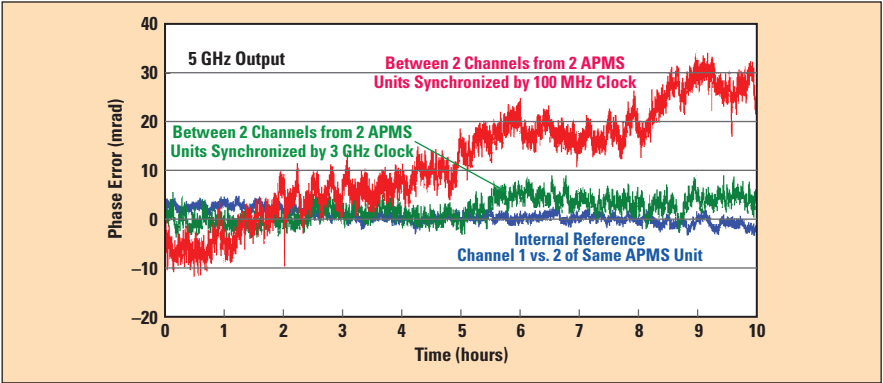


图1：持续10小时测得的相位稳定性。

表 1

APMS40G SPECIFICATIONS

Parameter	Min	Typical	Max	Note
Frequency Range	300 kHz		40 GHz	
Frequency Resolution		< 1 mHz		
Phase Resolution		0.1°		
Output Power Range	-30 dBm -50 dBm		+25 dBm +23 dBm	Option PE4
Output Power Resolution		0.01 dB		
Output Power Accuracy			< 1 dB	
Switching Speed			500 μ s 25 μ s	Option FS
SSB Phase Noise at 10 GHz		-80 dBc/Hz -100 dBc/Hz -112 dBc/Hz -128 dBc/Hz		10 Hz Offset 10 Hz Offset Option LN 1 kHz Offset 100 kHz Offset
Modulation		Pulse, Phase and Amplitude		Option Mod

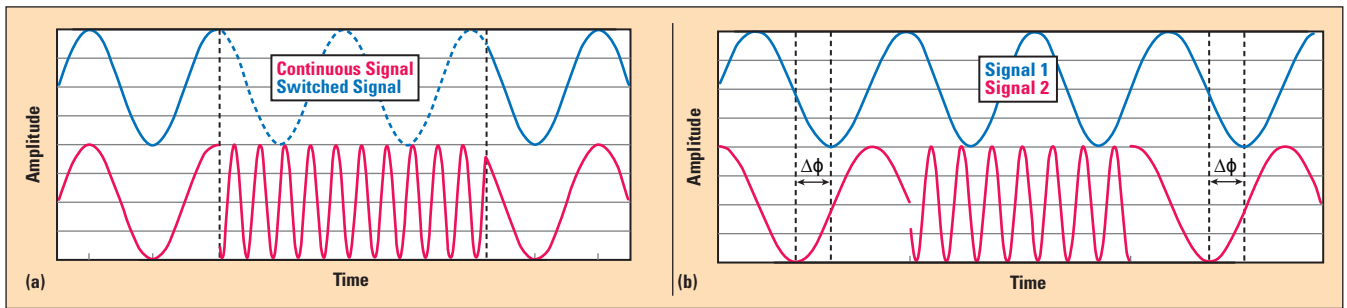


图2: 信号发生器具有相位相干切换 (a) 和相位存储 (b)。

保通道之间的系统相位漂移很小。一些应用需要四个以上的独立输出, 并且需要在长时间内保持相位稳定性。APMS-ULN提供了专用的时钟同步模式, 它使用后面板上的两个端口来维持一组级联的APMS-ULN源之间的相位一致性。这样, APMS可以扩展到几乎任何数量的通道。

为了证明随时间变化的相位稳定性, 图1显示了在超过10个小时后两个5 GHz输出信号之间测得的相位差。蓝色轨迹显示了APMS的两个单独通道之间具有出色的相位稳定性。同样, 绿色轨迹显示了两个独立通道同步时的出色稳定性。为了进行比较, 使用外部

100 MHz参考信号锁相两个独立的信号发生器会导致明显的相位漂移——数百毫弧度——由红色轨迹显示。与常见的10 MHz参考信号同步会产生更差的性能。除了出色的通道间相位稳定性外, APMS还支持相位相干切换和相位存储(见图2)。它的通道可以同步, 可以在任何频率下始终保持设定的相位关系。作为相位相干切换的示例, 考虑设置为相同频率 f_1 且相位偏移为 Φ 的两个通道。在将两个通道切换到任何其他频率, 然后又回到初始频率 f_1 之后, 它们将具有相同的相位偏移 Φ 。还可以将APMS编程为相位匹配输出($\Phi = 0$ 度)。对一个通道进行编程不会影响其他通道的信号;

只有被编程的通道具有相位不连续性。使用相位存储, 每当信道频率跳变, 然后返回到先前的频率时, 其行为就好像一直在第一个频率下运行一样。通过级联和同步多个APMS单元, 可以将所有这些功能扩展到四个以上的通道。表1总结了APMS40G的关键规格参数。

AnaPico的APMS多通道信号发生器可满足多种应用的需求, 例如测试相控阵、波束成形天线、卫星有效载荷以及量子计算。通过独特的设计, 信号发生器可提供出色的通道间相位相干性, 并可扩展至几乎任何数量的通道。PHS选件增加了相位相干切换、相位存储和相位匹配功能。■



射频开关解决方案 从直流到110GHz



30MHz至110GHz PIN二极管

- 单刀单掷、单刀双掷
- 单刀4掷、单刀6掷、单刀8掷
- 宽带、窄带
- 高功率



DC至46GHz同轴开关

- 单刀双掷、转换
- 单刀3掷~单刀10掷
- 非端接和端接
- 50Ω和75Ω阻抗



Ducommun供应开关矩阵解决方案!

www.ducommun.com/engineeredolutions/rfproducts
欲获取更多信息, 请联系我们的销售团队: 001-310-513-7233或 rfsales@ducommun.com



当需要波导端口时，微波和毫米波的常规封装会变得极具挑战性。集成的波导端口通常需要昂贵的加工工艺，并且难以建模和加工。为了容纳不同的波导带和众多的端口配置可能需要大量的封装设计。常见的替代方法是采用外部同轴电缆到波导的过渡。不幸的是，这些在机械上可能很麻烦，并且它们可能具有高插入损耗或边缘信号完整性问题。

SAGE Millimeter正在申请专利的Uni-Guide™波导连接器消除了许多此类设计和制造障碍。它们提供紧凑、可靠且经济高效的波导法兰，只需将其添加到标准同轴端口即可。它们易于与同轴连接器互换，为组件制造商和最终用户提供了更大的灵活性。

密封波导管解决方案

密封封装中使用的一种常见类型的信号端口使用玻璃珠，该玻璃珠位于一对螺纹安装孔之间的中间位置（见图1）。螺纹孔支撑易于连接或更换的同轴连接器。几个连接器系列都使用此通用配置，包括SMA、2.92毫米（K）、2.4毫米、1.85毫米（V）、1.35毫米（E）和1毫米。

Uni-Guide™波导连接适用以上接口形式。如果封装设计和制造为用于同轴连接器的气密封，则在使用Uni-Guide波导连接器时，它将保持其密封性。这消除了对昂贵的密封波导工艺的需求。

三端口Uni-Guide连接器可用于同轴端口，其中心引脚为12mil，两个安



图1：Uni-guide采用相同的RF接口连接同轴连接器：密封焊接在外壳壁上的玻璃珠。

创新的波导连接器 简化了毫米波封装

Innovative Waveguide Connector Simplifies mmWave Packages

SAGE Millimeter, www.sagemillimeter.com

（注：SAGE Millimeter将于2020年3月更名为Eravant）

装孔之间的间距为0.48in，该布置广泛用于2.92毫米（K）和2.4毫米连接器。SUF-2812-480-S1型是WR-28连接器，覆盖26.5至40 GHz，典型插入损耗为0.5 dB。SUF-2212-480-S1 WR-22连接器覆盖33至50 GHz，插入损耗为0.6 dB；SUF-2812-480-S1 WR-19连接器覆盖40至60 GHz，插入损耗为0.7 dB。这三者均具有20 dB的典型回波损耗，并能支持100 W的RF功率。

Ka频段的Uni-guide测得的插入损耗和 $|S_{11}|$ 如图2所示。

为覆盖8.2至110 GHz的所有标准波导频段，具有引脚直径分别为9、15、20和50mil的玻璃珠的Uni-Guide型号以及各种安装配置正在开发中。

端口类型和方向更改

尽管它们提供了实现波导端口的简便方法，但Uni-Guide连接器还具有其他优势。旋转它们会在端口方向上产生90度的变化，以形成各种集成选项，并且当连接器旋转180度时会实现极性反转。可以将成对的Uni-Guide连接器级联以创建通用的波导组件，例如带间波导转接



图3：成对的Uni-Guide连接器组合在一起实现频段间的转接或90度弯角。

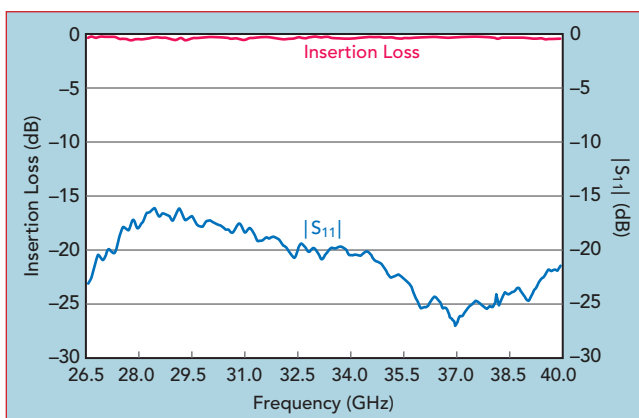


图2：Ka频段的Uni-guide连接器的典型插入损耗和 $|S_{11}|$ 。

器或90度弯波导（见图3）。中心引脚连接了背对背连接器之间的信号通路，从而产生了一个紧凑的组件，可与更大、更昂贵的其他产品的性能相媲美。

在许多情况下，Uni-Guide连接器允许器件制造商提供各种端口配置，以便实现同轴或波导测试设备。这可以减少多变的产品环境所需的昂贵测试系统的数量。

时间就是金钱

定制封装设计需要电磁仿真、机械建模、设计、加工和验证，这很容易需要12到16周的时间。如果需要进行第二次迭代，开发时间将延长到20到26周。将Uni-Guide波导连接器与标准同轴外壳配合使用，可以立即提供所需的任何波导端口，而无需进行设计或原型加工。

为了处理波导尺寸和端口的产品组合，制造商可能需要数十到数百种封装尺寸和样式，从而建立了昂贵、庞大、浪费的库存。现在，只要少数标准外壳和Uni-Guide连接器就将支持许多同轴电缆、波导或混合接口产品。Uni-Guide波导连接器的灵活性减少了许多转接器、过渡和弯波导。■

低噪声 旁路 放大器



1 MHz ~ 43.5 GHz

- ▶ 内置旁路和电源关断功能
- ▶ 噪声系数低至1.1dB
- ▶ 超宽带宽平坦增益

Mini-Circuits... 我们重新定义价值所在！



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED
www.minicircuits.com

P.O.Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003
(718) 934-4500 sales@minicircuits.com



Mitron Inc.
Authorized Mini-Circuits Rep in China

伟博电讯——把最好的微波射频产品带给中国

总部地址：福建省福州市349信箱 邮编：350003
全国免费服务热线：400-887-3088 传真：0591-87870011
E-mail: sales@mitron.cn 网址: www.mitron.cn





5G一体式测试解决方案

One Box Test Solutions for 5G

罗德与施瓦茨, www.rohde-schwarz.com

测试 5G NR产品需要新的测试和测量方法。大规模MIMO (mMIMO)的带宽和数据速率远高于4G, 而且毫米波频率需要更强的计算能力, 因此必须采用无线 (OTA) 测量, 同时也对RF硬件提出了极高的性能要求。采用统一的测试环境, 有可能在开发、验收测试和生产中实现与4G测试效果相当的5G测量。

紧凑型5G毫米波测试解决方案

罗德与施瓦茨针对毫米波频段 (称为FR2) 的5G NR测试推出R&S CMPQ, 这款紧凑型解决方案基于R&S CMP200无线电通信测试仪, 同时结合了R&S CMPHEAD30远程无线电头和R&S CMQ200屏蔽箱。屏蔽箱采用抽屉式设计, 可在生产环境中实现20至77GHz频率的自动处理。其设计结构可

确保数百万次测试循环, 从而确保可靠的批量生产流程。

R&S CMPQ系统可以定制, 从而打造出适合个性化需求的解决方案。它可以用于产品生命周期的任何时段, 从研发到验证, 再到生产及质保。此套系统设计强大灵活, 足以适应未来的要求和规范。R&S CMPQ解决方案为用户提供了FR2 5G组件生产测试所需的工具。针对6GHz以下(FR1)频带, 这套解决方案还支持R&S CMW100通信生产测试套装和相应的测量软件R&S CMsquares。

网络信令仿真

R&S CMX500无线电通信测试仪在现有的LTE测试和测量解决方案中增加了5G NR信令测试。已经投资购置了适用于LTE或旧版2G和3G的R&S CMW500或

R&S CMWflexx系统的用户可以添置R&S CMX500作为扩展仪表, 以便继续使用。从研发到认证测试, 这套系统可以执行5G NR RF、信令协议以及数据吞吐量和应用测试 (例如IMS、VoLTE和VoNR) 等多项功能。如此一来, 就可以在FR1和FR2频带的非独立组网 (NSA, 选项3) 和独立组网 (SA, 选项2) 模式下测试5G NR用例。对于FR2中的纯5G NR测试环境, 一个带有远程无线电头和屏蔽环境的R&S CMX500无线电通信测试仪就已足够。

单一的平台, 统一的软件

单一平台策略的控制原则是对所有测试解决方案采用相同的技术、相似的硬件和相同的软件 (参见图1)。因此, 从研发到生产, 所有测试阶段的测试结果均具有可比性。不同的测试方法 (信令或非信令) 必须得出可复现且经验证的测试结果, 在无需对测试解决方案再进行测试的情况下, 提供有关被测设备特性的确凿信息。借助R&S CMPQ解决方案, FR2 OTA测试与FR1同样可靠。

R&S CMsquares是一种全新的统一测试软件解决方案, 可提供基于浏览器的用户体验, 同时兼具5G NR测试所需的一切功能。CMsquares通过标准化的图形界面控制所有全新5G无线电通信测试仪, 通过仪表板将测试配置、参数设定、测量和测试执行集成在单一环境中, 可以快速访问各种应用 (参见图2)。交互式callbox模式可快速连接到被测设备, 即时更改网络参数, 分析实时RF Tx和Rx测量, 跟踪所有协议层上的协议栈消息, 生成数据吞吐量测试统计信息, 并提供各种图表。它还集成了序列器模式, 可运行预配置的5G NR测试脚本, 也可以通过简单的拖放方法从头开始创建5G NR测试环境。

无论是使用R&S CMP200无线电通信测试仪进行非信令测试, 还是使用R&S CMX500无线电通信测试仪进行5G NR网络仿真, 交互模式和序列器模式都可以并行使用, 一起为用户提供相同的测试结果。

5G NR的相关挑战要求高度的灵活性、端到端的数据测试解决方案和可靠的测量方法。作为移动无线电通信行业的长期合作伙伴, 罗德与施瓦茨提供了全面的创新的5G NR测试解决方案组合。■



图1: 单一平台策略可对FR1和FR2进行同样的测量, 无论是信令测试还是非信令测试。



图2: 测试软件R&S CMsquares控制着所有5G无线电通信测试仪, 让5G NR测试协调一致。



Messe München

Connecting Global Competence

融合创新，智引未来 Fusion, ushering a smart future



参观咨询

- 李曙 女士
- 电话: 021-2020 5612
- Email: hazel.li@mm-sh.com

扫码即可预登记免费参观



International Trade Fair for
Electronic Components, Systems, Applications and Solutions

2020年3月18-20日
上海新国际博览中心

electronicachina.com.cn

March 18-20, 2020
Shanghai New International Expo Centre

electronica-china.com



electronica China

慕尼黑上海电子展



Fairview Microwave扩充了宽带、大功率、同轴封装的限幅器产品线，现已包括13种独特的型号，旨在保护敏感器件免受雷达、电子战、军事通信、点对点广播、卫星通信、光纤通信、仪器仪表和研发中的大功率微波信号的影响。

高可靠性限幅器保护敏感的RF接收器

Hi-Rel Limiters Protect Sensitive RF Receivers

Fairview Microwave, www.fairviewmicrowave.com

50 Ω 限幅器系列依不同型号可涵盖200MHz至40GHz的宽频率范围，并提供峰值高达200W的连续波功率处理能力、10至18dBm的低泄漏功率以及10ns至15 μ s的快速恢复能力。在硬限制下，限幅器抑制偶次谐波。插入损耗随频带而变化，从4GHz型号的0.8dB到40GHz型号的4.5dB。除两个40GHz型号外，该系列的输入VSWR通常小于2:1。

限幅器不需要任何外部匹配器件，

并通过安装孔和可现场更换的SMA或2.92mm连接器封装在紧凑的外壳中，从而可以将限幅器安装到电路板上。坚固的设计采用高可靠性器件制造，满足MIL-STD-202环境测试条件，包括冲击、湿度、振动、海拔和温度循环，并保证在-54 $^{\circ}$ C至+85 $^{\circ}$ C的温度范围内工作。

Fairview Microwave的大功率同轴限幅器可立即发货，无最低订购量。■



低成本6GHz矢量信号发生器

Low Cost 6 GHz Vector Signal Generator

Signal Hound, www.signalhound.com

Signal Hound推出了型号为VSG60A的新款50MHz至6GHz矢量信号发生器，可以极低的价格获得性能卓越的矢量信号。低相位噪声、高灵敏度的本地振荡器切换时间为200 μ s，可进行跳频变频测试，并且双14位DAC使用数字过采样功能可以以2或3倍I/Q符号速率运行，提供平坦、干净的基带。20MHz的基带平坦度为 ± 0.25 dB，40MHz的基带平坦度为 ± 0.5 dB（典型值）。输出功率范围为+10至-55dBm。

VSG60A 6GHz矢量信号发生器具有40MHz的流调制带宽。它包括各种预编程的调制类型，包括Wi-Fi、QAM、PSK、CW、脉冲、多音等。误差矢量幅度通常为0.3%（1GHz载波、1MSPS、16-QAM、0.35的Alpha、升高的余弦），典型的相位噪声在1kHz偏移下为-114dBc/Hz，在1MHz偏移下为-135dBc/Hz。

数字可调内部VCTCXO可确保在整个温度范围内将频率误差保持在最低水平，或者可将外部10MHz输入用于

0ppm频率误差。在整个温度范围内的稳定性为 ± 0.28 ppm，并且老化时间小于1ppm/年（典型值）。触发输出可用于使VSG60A与其他测试设备同步。

自定义API可用于以高达51.2MSPS的任意采样率将I/Q数据连续传输到VSG60A，或使用该软件加载CSV、二进制short int或二进制浮点I/Q文件。数据流传输到仪器时，校正将自动应用。

这款VSG的价格不到2500美元，其性能卓越，可与昂贵的仪器相媲美。■

宽带RF收发器

ADI的射频宽带收发器ADRV9026支持基站应用，包括单标准和多标准3G/4G/5G宏基站、大规模MIMO和小蜂窝系统。ADRV9026是ADI的第四代宽带RF收发器，与低功率、小尺寸的通用平台解决方案进行四通道集成。这款软件定义的新型收发器支持FDD和TDD标准，可以帮助简化3G/4G/5G应用的设计，同时降低系统功率、大小、重量和成本。ADRV9026采用14 $\times$ 14 mm BGA封装。主要特性包括：集成双信道观测接收器的四通道发射器和接收器；LO频率范围：650至6000 MHz；最大接收器/发射器带宽：200MHz；最大观测接收器/发射器频率合成带宽：450MHz；用于所有本振和基带时钟的多芯片相位同步。

www.analog.com/cn



无线/有线多协议连接平台

Bridgetek的PanL智能家居和房间管理方案的关键装置是通过FCC和CE认证的PanL Hub，安装人员能够将各种不同的通信技术整合到需要部署的系统中，以便在获得最佳功能的同时仍可以得到最大的便利性并且降低成本。在无线连接选项方面，包括Wi-Fi（802.11b/g/n）、ZigBee和RF433协议，以及更专业的OEM特定协议，如Hue、DALI和DMX512。因此，PanL Hub能够与家庭、办公室、旅馆、零售商店等各种环境的无线智能设备（例如传感器和执行器）连接。而这些设备的通信技术将没有任何限制，可以直接通过基于PanL的直观用户界面来操作（如暖气设备、照明、空调、房间/建筑物出入通道等）。

www.brtchip.com



N型50 W同轴端子

Mini-Circuits的TERM-50 W-183N+是同轴端子，能够吸收从DC到18 GHz的高达50 W的信号。即使高达18 GHz，它也具有29 dB的出色回波损耗，可高效耗散信号功率，同时信号反射达到最小。该型号具有钝化不锈钢N型公连接器，带有坚固的阳极氧化铝散热器。TERM系列同轴端子可提供各种额定功率和连接器类型，以满足您的需求。

www.minicircuits.com



波导带通滤波器

Mini-Circuits和Virginia Diodes携手合作，为毫米波应用提供了一系列新的高性能、高保真波导带通滤波器。WVBP系列滤波器可提供27至86 GHz范围内的各种通带，并提供标准WR波导接口。WVBP系列滤波器具有精确的机械公差和出色的电镀质量，可在通带中实现低插入损耗，具有出色的回波损耗、能快速滚降实现高阻带抑制性能。WVBP-783-WR12+型号具有76至81 GHz的通带。

www.minicircuits.com

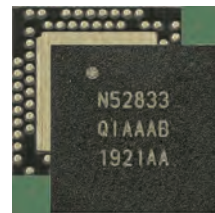


蓝牙5.1 SoC

Nordic Semiconductor推出nRF52833先进多协议系统级芯片(SoC)，这是其广受欢迎且验证通过的nRF52系列的第五个

新成员。nRF52833是一款功耗超低的低功耗蓝牙、Thread、Zigbee和2.4GHz私有无线连接解决方案，包含蓝牙5.1测向功能的无线电，并且可以在-40至105℃范围内有效运作。nRF52833采用具有FPU的64MHz 32位Arm® Cortex®-M4处理器，由于包含大容量闪存(512 KB)和RAM(128 KB)内存，因而非常适多种商业和工业无线应用。

www.nordicsemi.com



超低功耗无线多协议模块

深圳云里物里科技股份有限公司的MS88SF2多协议模块基于Nordic功能最强大的短距无线微控制器系统级芯片(SoC) nRF52840。这款模块可以配合蓝牙5.0、ZigBee 3.0、Thread和ANT以及专有2.4GHz堆栈运行。采用紧凑封装(23.2×17.4×2mm)的MS88SF2包含从无线电到不同天线(PCB和陶瓷)的所有必需组件，以及天线匹配网络或用于外部天线连接的U.FL/IPEX天线插头。MS88SF2以极具吸引力的价格降低了构建网络节点的成本。

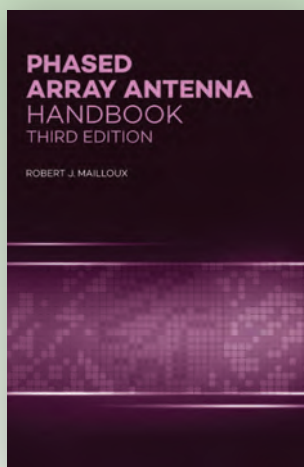
www.minewtech.com



动态实时威胁仿真电子战测试解决方案

是德科技发布了全新的电子战场景仿真解决方案，该方案集成了是德科技先进的软件仿真工具以及硬件平台，可搭建现代电子战射频环境，供工程师轻松、高效地测试其电子战系统。为了

阵列天线和系统的完整手册



相控阵天线手册 第3版

Robert J. Mailloux

ISBN: 978-1-63081-029-0

U.S. : Call 1-800-225-9977 (in the U.S. or Canada)
or 1-781-769-9750, ext. 4030
e-mail artech@ArtechHouse.com

U.K. : Call +44 (0)20 7596 8750
e-mail artech-uk@ArtechHouse.com

现在登录ArtechHouse.com网站使用优惠码MWJ30

订购省30%

不与其他优惠同享。



ARTECH HOUSE
BOSTON | LONDON

685 Canton Street, Norwood, MA 02062, USA
16 Sussex Street, London SW1V 4RW, UK

应对层出不穷的场景，是德科技推出了两款商用产品：

- 仿真视图软件，可通过实时射频建模和动态高保真可视化显示，支持快速开发、集成和测试复杂的电子战系统。
- UXG捷变矢量适配器，现在包括20GHz、40GHz和44GHz等型号。该适配器具有快速、低时延的频率、相位和幅度切换能力，并支持实时脉冲描述字（PDW）数据流传输。PDW是用于创建雷达信号的数据。

www.keysight.com

60W GaN功率放大器

贸泽电子即日起开始分销Qorvo的QPA2308 MMIC功率放大器。QPA2308专为商业和军事应用而设计，能为5至6GHz射频设计提供高功率密度和附加功率效率。这款单片微波集成电路（MIMC）功率放大器采用Qorvo的0.25μm碳化硅基氮化镓工艺制成，紧凑型15.24×15.24mm螺栓封装可简化系统集成，提供优异的性能。QPA2308功率放大器具有高于60W的标准输出功率和超过21dB的大信号增益。此器件的附加功率效率额定值超过47%，器件开始消耗正栅极电流（PSAT）时测得的RF输出功率为48dBm。此放大器的输入回波损耗为14至23dB，输出回波损耗为13dB。

<https://cn.qorvo.com>



Ka波段L型波导旋转关节

英联微波的Ka波段L型波导旋转关节属于L型单路旋转关节，工作频率范围26.5-40.0GHz，波导型号BJ320（WR28），可选工作带宽2GHz。最新推出型号28WRJL-26C_Cu和28WRJL-06C_Cu，工作频率分别为28-30GHz，34-36GHz，全带内驻波比最大值1.2:1，插损最大值0.4dB，可承受连续波功率30W。波导旋转关节的所采用材料有铜、铝，表面处理有镀银、镀金、镀镍、钝化、导电氧化等。波导旋转关节的外形尺寸规格、法兰、材料、表面处理方法和技术指标要求均可定制。

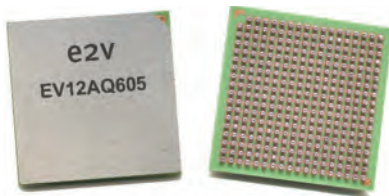
www.ainfoinc.cn



12位四核高速大带宽ADC

Teledyne e2v最新的12位四核高速大带宽ADC新版本EV12AQ605主要面向大用量的商业和工业市场。客户可以设计独立运行或同步运行EV12AQ605的系统，使其工作在四信道1.6Gsp/s、双信道3.2Gsp/s或单信道6.4Gsp/s等不同模式。通过使用同一个ADC型号配置不同的系统，可满足大用量终端应用的需要。EV12AQ605包含已被验证的链式同步功能，其在Teledyne e2v最新的数据转换器中已经有所应用，同步也可通过传统的点对点方法实现。这个功能可满足日益增长的大规模多通道相控阵天线和宽带微波回程的MIMO系统，以及多通道数字存储示波器的需要，提高了ADC的性能和灵活性。

www.teledyne-e2v.com



面向蓝牙5和Thread的功率放大器模块

贸泽电子即日起开售Laird Connectivity带功率放大器的BL654PA模块。这些模块经过FCC、IC、RCM、KC和蓝牙SIG认证，可帮助工程师将单模蓝牙5和Thread（802.15.4）技术实现到简单的低功耗蓝牙设计中。BL654PA模块基于非常灵活的多协议Nordic nRF52840片上系统（SoC），具有强大的Arm Cortex-M4F核心以及支持蓝牙5、ANT/ANT+和专属2.4 GHz网络的多协议无线电功能。BL654PA模块提供非常宽的无线覆盖范围，发射功率+18 dBm，可配置到最低-26 dBm。

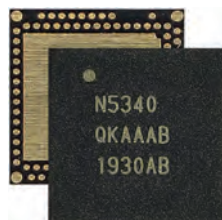
www.lairdconnect.com



适合最严苛低功耗物联网应用的无线SoC

Nordic Semiconductor推出下一代nRF5系列SoC中的首个成员nRF5340™ 高端多协议系统级芯片（SoC）。nRF5340引入了具有先进安全功能的全新灵活双处理器硬件架构，支持包括蓝牙5.1/低功耗蓝牙、蓝牙Mesh、Thread和Zigbee等主要RF协议。nRF5340将高性能应用处理器、完全可编程的超低功耗网络处理器以及先进的信任根和受信任的执行安全功能集成在一个低功耗多协议SoC中，可用于专业照明、工业自动化、先进的可穿戴设备和其他复杂的物联网应用。

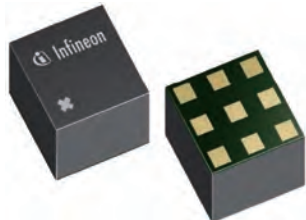
www.nordicsemi.com



具有高开关速度的宽带RF开关

英飞凌的宽带RF分集开关BGS14WMA9和BGS12WN6具有高开关速度，它们针对WLAN和蓝牙应用进行了优化，可为FM广播、LTE、LAA和5G应用提供0.05至6.0GHz宽带支持。除了高开关速度外，这两种类型RF开关还提供高达26dBm输入功率的高线性度、低插入损耗和高达6GHz的端口到端口高隔离度。其低耗电量可进一步节省系统级的功耗。BGS12WN6是具有两个端口的单刀双掷分集开关，而BGS14WMA9是包括四个RF端口的单刀四掷开关，每个端口都可以用作分集天线的终端，可处理高达26dBm功率。这些RF开关在儒卓力电子商务平台上供货。

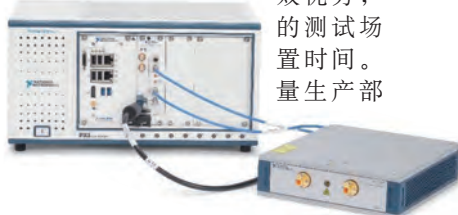
www.infineon.com



4GHz带宽车载雷达测试系统

NI推出了针对79 GHz雷达传感器的4 GHz带宽车载雷达测试系统（VRTS）。全新的NI VRTS能够使用高度可重复的雷达反射截面（RCS）功能从每个角度对两个对象进行仿真。RCS使得仿真的障碍物同时适用于验证和生产测试。VRTS是NI平台的产品之一，延续了该公司软件定义系统一贯的灵活性、可扩展性和经济高可帮助用户建立更精确场景并缩短测试安装和设最后，VRTS还针对大批署，对成本和尺寸方面进行了优化。

www.ni.com



2020慕尼黑上海电子展开幕在即，亮点抢先看

融合创新，智引未来，汇聚行业新风向

2020慕尼黑上海电子展(electronica China)聚集国内外优质厂商，重点展示半导体、传感器技术、微纳米系统、电源、测试测量、无源元件、开关及连接器技术等，着重展示应用于汽车、工业电子、消费电子、通信、物联网、医疗电子、军工、航空航天等尖端技术及解决方案。为企业打造新技术、新应用解决方案展示平台，激发行业的创新灵感。联合同期举办的慕尼黑上海电子生产设备展(productronica China)，展会规模将突破10万平方米，预计参展商数量将超过1,800家，海内外观众数量将超10万名。

八大关键词玩转行业重点领域

2020慕尼黑上海电子展重磅推出八大关键词：5G+、IoT+、+AI、智慧出行、智慧工厂、智慧生活、融合创新、初创企业，主力快速掌握电子产业发展趋势。围绕八大关键词，展会同期将为所有电子行业同仁打造各类精彩专题活动：

工业电子新风向，智慧工厂发展最关键

2020慕尼黑上海电子展将以专业的角度呈现智慧工厂的几大核心环节，剖析产业升级的未来走向！在2020年的慕尼黑上海电子展上，“智慧工厂科技园”作为重要的专题展区将继续带来行业新玩法。

5G+AI时代，IoT开启发展新阶段

针对5G+AI技术的融合应用，慕尼黑上海电子将首次推出技术融合类展区“人工智能物联网(AIoT)科技园”，引入深耕人工智能物联网领域的优秀企业，展出先进技术产品和系统解决方案。此外，展会特设同期创新论坛，将搭建一个观众与行业领袖共探物联网热点话题的理想平台。此外，展会同期

还将全新推出人工智能应用创新峰会，与行业精英一起探讨人工智能技术的落地。

专题展区+论坛推动智慧出行升级浪潮

“智慧出行”已经是技术革新的重点话题，2020年慕尼黑上海电子展现场打造“智慧出行科技园”，集中展示汽车行业的新兴科技，并为各不同技术的碰撞提供前沿的舞台。全新出发的“汽车技术日”将全面展示汽车电子产业创新产品、技术、趋势和政策，结合核心厂商带来的汽车电子解决方案以及行业趋势论坛，为汽车行业专业人士开启一场独特的汽车电子技术之旅！

同期多场精彩论坛 海量行业干货

展会同期举办的论坛、技术竞赛、现场演示区等也一直以行业热门话题、高质量的演讲、专业的组织吸引着越来越多展商和观众的关注，成为展会的另一个亮点。2020慕尼黑上海电子展重点针对汽车电子、电动车、人工智能、物联网、电力电子、医疗、连接器等热门应用市场与高速发展的行业，邀请行业大咖、优质企业代表、研究院高校等专家济济一堂，与观众展开交流深度交流。

四展联动助力电子行业全方位自动化升级

慕尼黑上海电子展作为电子全产业链应用解决方案的展示平台，顺势提出“融合创新，智引未来”新口号，旨在激发行业的创新灵感，积极推动并加速电子全行业发展升级。为专注打造“融合创新”的高品质平台，展会将与同期举办的慕尼黑上海电子生产设备展、慕尼黑上海光博会、中国(上海)机器视觉暨机器视觉技术及工业应用研讨会全面融合，展与展高契合度及技术间的碰撞，助力电子行业全方位自动化升级。

更多信息，请访问：www.electronicachina.com.cn

2019国际电子电路（深圳）展览会圆满落幕

2019国际电子电路（深圳）展览会（前称：国际线路板及电子组装华南展览会）已于12月4-6日在深圳会展中心成功举办。展会由香港线路板协会(HKPCA)与中国电子电路行业协会(CPCA)共同主办，以凝汇·创新·领航为主题，展示范围覆盖了线路板及电子组装整个产业链的最新产品和技术。

展会再创好成绩，多项数据打破历史记录

2019年展会的展商数量再次刷新历届记录，吸引了来自14个国家和地区共621家厂商参展，展位数达到3,537个，行业领先厂商及新晋品牌悉数亮相。展商参展需求旺盛促使展会面积两度扩大，主办方先是在原定的1、2、4号馆外，新开9号馆。但为满足更多展商的参展需求，随后又增加部分3号馆，最后2019年展会面积达到68,900平方米，覆盖深圳会展中心5个展馆。这场行业盛会三天共吸引了专业观众55,350人次，比2018年增长了14.7%，成为展会有史以来规模最大及最具影响力的一届。

展会同期活动为与会者提升展会价值

展会期间成功举办了一系列丰富的教育及社交活动，提升参观者体验。国际技术会议汇聚了众多市场领袖及技术专家分享最新市场趋势和技术发展的宝贵见解，帮助参观者获取提升业务发展的实用知识。为期三天的国际技术会议共举办了17场会议，与会人数达1,877人，为历届最高。其他同期举办的活

动，如欢迎晚宴、高尔夫球公开赛等为与会者们提供了宝贵的交流机会，帮助他们在轻松的环境下与同行会晤交谈，开拓新的业务联系。

展商及观众高度赞赏展会为首屈一指的商贸平台

2019年展会设有七大展示区，分别为设备供应商专区、智能自动化专区、环保洁净专区、线路板制造商专区、电子组装专区、日韩专区及原物料供应商专区，覆盖线路板及电子行业整个产业链的最新产品和技术。展会现场人气高涨，气氛热烈，展商及观众高度赞赏展会效果，纷纷认同本展会是业内首屈一指的商贸及交流平台。今年新推出的“逛展易”导航APP及“商贸配对系统”也备受欢迎。

2020展会聚焦5G时代，规模将进一步扩大

在2019年展会现场，已有585家厂商预定了2020年展位，预定展位数共计4,139个。这一数据已打破今年展会的记录，预示着明年展会规模将会更大！随着5G等新技术不断深入应用，PCB产业也将迎来新的发展机遇，2020年展会将以“5G时代·智能未来”为主题，继续在深圳会展中心举办，旨在帮助业内人士做好准备应对5G时代的机遇及挑战，帮助他们利用新技术拓展无限商机。

请业内厂商从速参展，为明年发展做好准备！有关展位预定，请访问展会官网：www.HKPCAshow.org

Advertiser	广告客户	网址	页码
American Technical Ceramics		www.atceramics.com	BC
ARTECH HOUSE		ArtechHouse.com	57
B&Z Technologies		www.bnzttech.com	5
Digi-Key Electronics		www.digikey.com.cn	11
Ducommun		www.ducommun.com	51
EDI CON China 2020	电子设计创新大会	www.mwjjournalchina.com/edicon	2, 4, 45, IBC
electronica China		electronica.china.com.cn electronica-china.com	55
EPX Microwave. Inc.,		www.epxmicrowave.com	28
EuMW 2020	2020 欧洲微波周	www.eumweek.com	36-37
Mini-Circuits		www.minicircuits.com	27, 31, 39, 41, 47, 49, 53
伟博电讯		www.mitron.cn	25, 29, 33, 43
L-com		L-com.cn	7
Pasternack		www.pasternack.cn	21
Qorvo		qorvo.com/asc	3
Qotana Technologies Co., Ltd.	成都玖信科技	www.qotana.com	15
Rohde & Schwarz	罗德与施瓦茨	www.rohde-schwarz.com.cn	9
SAGE Millimeter		www.sagemillimeter.com	18-19
Shanghai Huaxiang	上海华湘	www.shx-sh.com	22
Win Semiconductors Corp.		www.winfoundry.com	IFC
Wolfspeed		http://go.wolfspeed.com/2019mwj-china	1
益丰电子		www.yifengelectronics.com	13



www.mwjjournalchina.com

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

US Head Office (美国总部)

Horizon House
685 Canton Street Norwood, MA 02062
Tel: (800) 966-8526

China Office (中国办事处)

ACT International (雅时国际商讯)
13/F Unit B Por Yen Building
478 Castle Peak Road, Kln., Hong Kong
Tel: (852) 28386298

Publisher 出版人

Carl Sheffres, csheffres@mwjournal.com
Tel: (781) 769-9750

Editor 编辑

Patrick Hindle, phindle@mwjournal.com

Technical Editor 技术编辑

Gary Lerude, glerude@mwjournal.com

Associate Publisher 副出版人

Adonis Mak (麦协林), adonism@actintl.com.hk
Tel: (852) 28386298

China Editor 中国区编辑

Winson Xing (邢文胜), winsonx@actintl.com.hk

销售人员 Sales Offices

Hong Kong, Taiwan (香港、台湾)

Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Shanghai (上海)

Tel: 86 21 62511200
Sales Director-China (中国区销售总监)
Linda Li (李承珍), lindali@actintl.com.hk
Tel: 86 136 7154 0807
Hatter Yao (姚丽莹), hattery@actintl.com.hk
Tel: 86 139 1771 3422

Shenzhen (深圳)

Tel: 86 755 2598 8571
Jenny Li (李文娟), jennyl@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2881 3915
Gavin Hua (华北平), gavinhu@actintl.com.hk
Tel: 86 139 2526 6434

Beijing (北京)

Cecily Bian (边团芳), cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86 135 5262 1310

Wuhan (武汉)

Sky Chen (陈燕), skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991 / 86 27 5923 3884/1564

Singapore (新加坡)

Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

North America (北美)

Eastern Reg. Sales Mgr.
Michael Hallman, mhallman@mwjournal.com

Northeast Reg. Sales Mgr.
Jaime Leger, jleger@mwjournal.com

Western Reg. Sales Mgr.
Brian Landy, blandy@mwjournal.com
Tel: 831 426 4143

Europe (欧洲)

International Sales Mgr.
Richard Vaughan, rvaughan@horizonhouse.com
Tel: 44 207 596 8742

Germany (德国)

Brigitte Beranek, bberanek@horizonhouse.com
Tel: 49 7125 407 31 18

Israel (以色列)

Oreet Ben Yaacov, obenyaacov@horizonhouse.com
Tel: 972 3 570 6527

Korea (韩国)

Young-Seoh Chinn, yschinn@horizonhouse.com
Tel: 82 2 481 3411

Japan (日本)

Katsuhiro Ishii, amskatsu@dream.com
Tel: 81 90 2551 1996 / 81 3 5691 3335



2020年5月12-13日

国家会议中心

与工程师面对面

展示您的产品

遇见新客户

**立刻预订展位
成为100家参展商的一员！**



Electronic Design **Innovation** Conference
电子设计创新大会

www.mwjjournalchina.com/edicon

ATC 400 系列 SMT 电容 是精度调谐的最佳解决方案

具有目前业界中
最高的精度 (到 ± 0.01 pF)

- 最适用于需高精度要求的射频/微波调谐应用
- 无须生产线末端调谐程序, 省时而提高成品率
- 降低生产成本
- 可靠性卓越



特性:

- 电容值: 0.1 pF 到 68 pF
- 最高精度为 ± 0.01 pF
- 提供 EIA 外形尺寸 01005, 0201, 0402 与 0603
- 额定电压: 可达至 200 WVDC
- 稳定的 NPO 介质
- 元件与元件的性能重复性
- 产品符合 ROHS 要求 / 无铅

精确调谐应用:

- 滤波网络
- 匹配网络
- 高 Q 频率源
- 天线元件匹配和调谐



www.atceramics.com

at
AMERICAN
TECHNICAL
CERAMICS
AN AVX GROUP COMPANY

THE ENGINEERS' CHOICE
ISO 9001 REGISTERED
COMPANY

THE ENGINEERS' CHOICE®