

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。

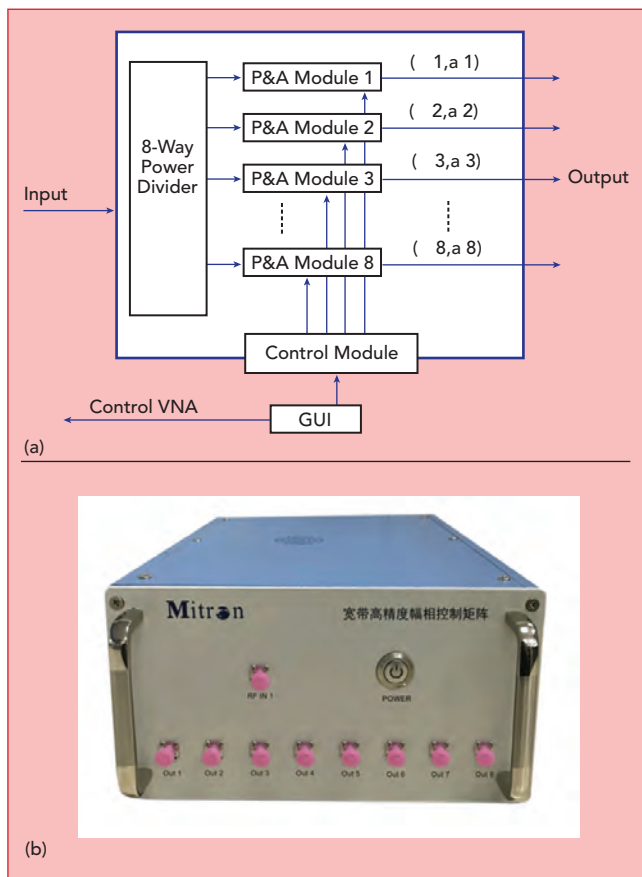


图2: 1x8多通道幅相控制矩阵框图 (a), 矩阵尺寸为220mm × 290mm × 150mm (b)。

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

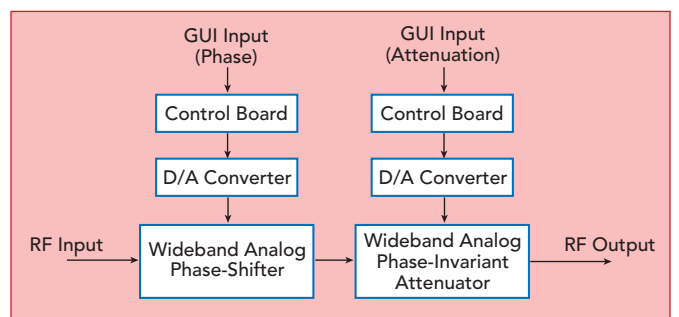


图1: 幅相控制矩阵框图。

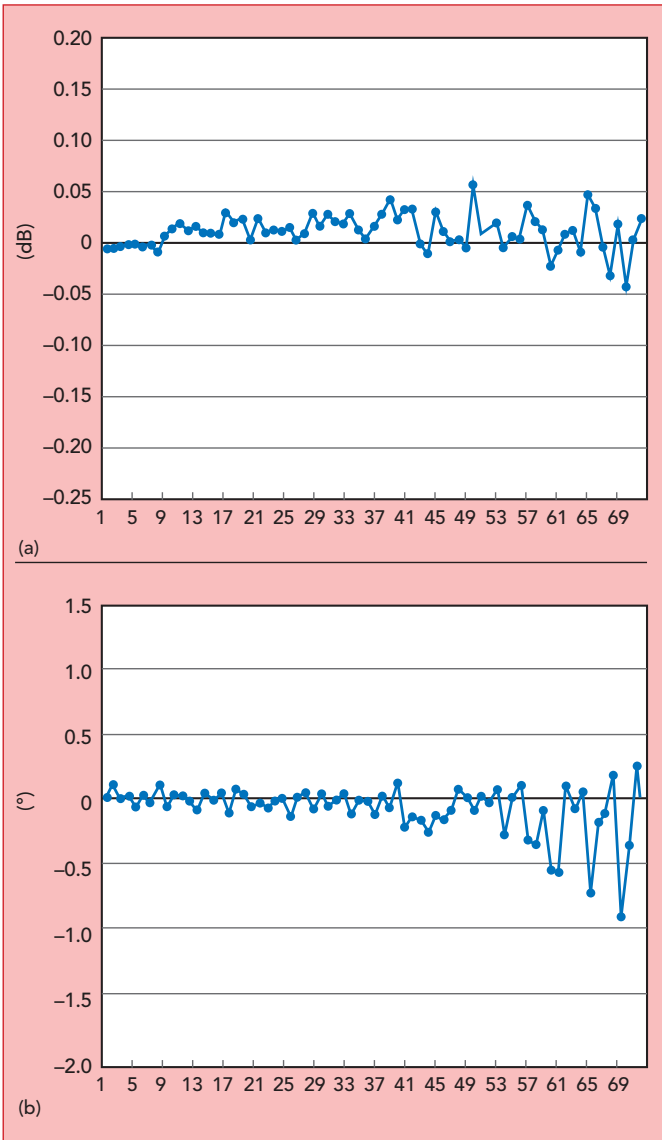


图3: 1x8矩阵在3.5GHz时40dB和360°动态范围内一系列随机幅度和相位设置时的幅度 (a) 和相位 (b) 精度。

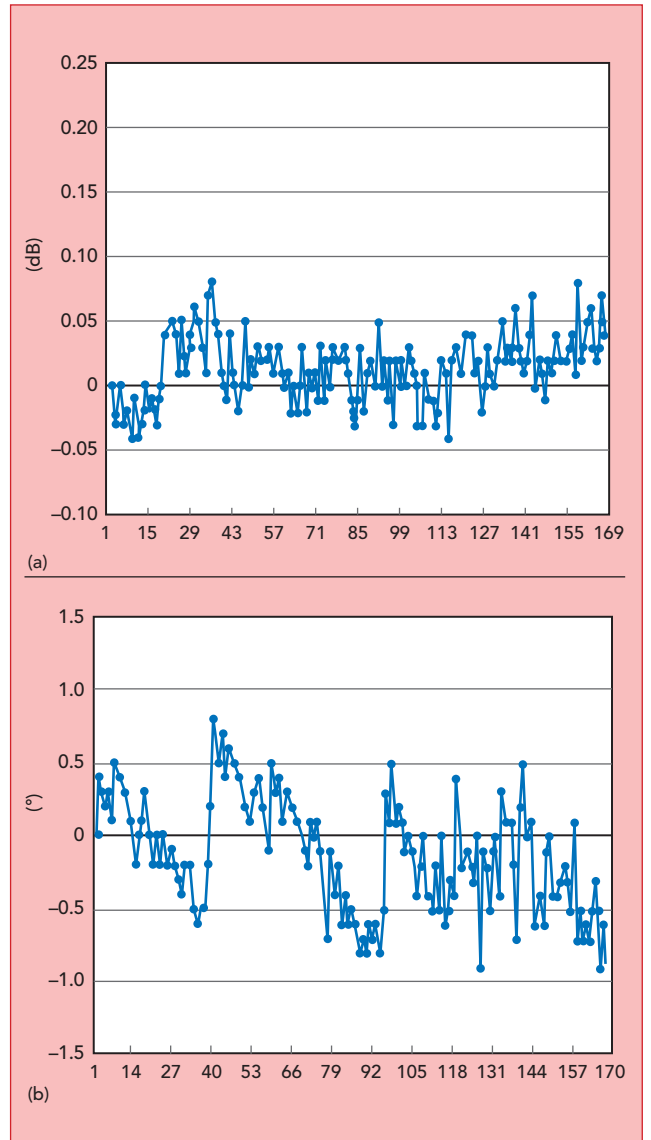


图4: 1x16矩阵在28GHz时40 dB和360°动态范围内一系列随机幅度和相位设置时的幅度 (a) 和相位 (b) 精度。

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

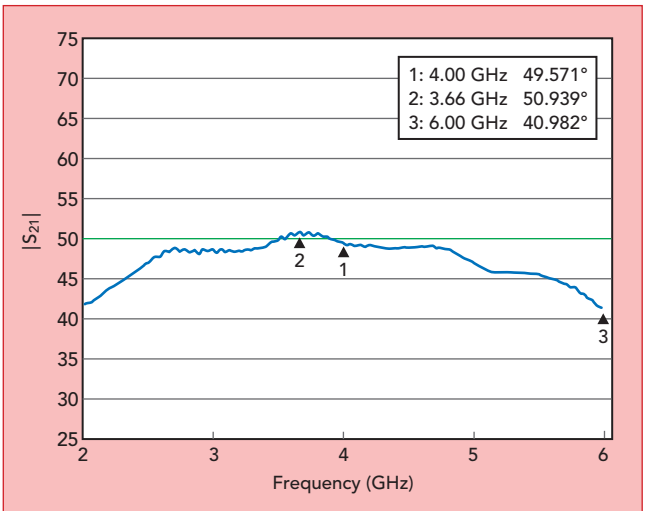


图5: 1.7-6GHz矩阵15dB衰减、50°相位设置时在2-6GHz的典型相位响应。



Superbend C29S

微波/毫米波超小弯曲电缆组件

-  低损耗
-  低驻波
-  高屏蔽效率
-  柔软耐弯
-  高机械强度

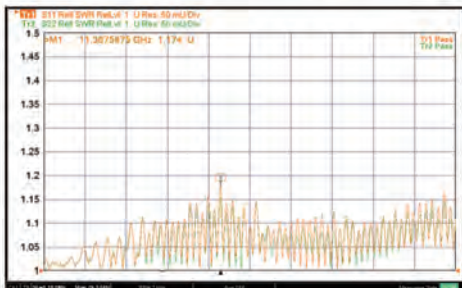


Up to 50GHz

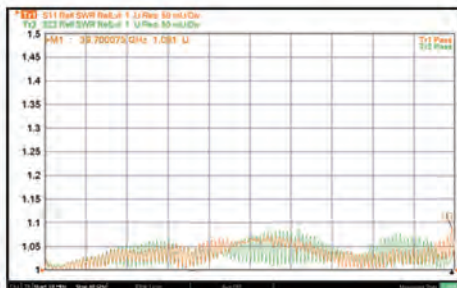
- ★ 可选连接器: SMA Male (26.5GHz)
2.92mm Male (40GHz)
2.4mm Male (50GHz)

超小弯曲

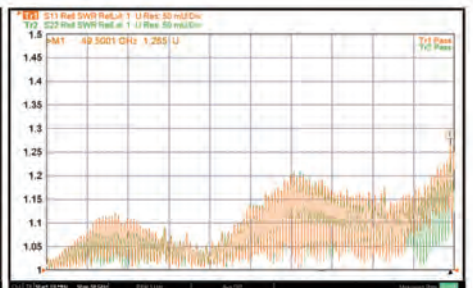
直头替代弯头，性能更优，成本更低，安装空间更小



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

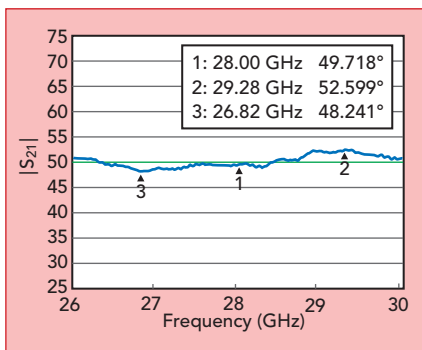


图6: 24-40GHz矩阵0dB衰减、 50° 相位设置时在26-30GHz的典型相位响应。

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

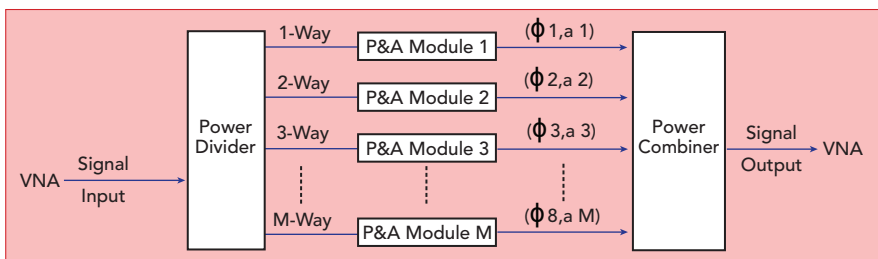


图7: 用于模拟理想波束赋形产生的装置，可以用于评估波束赋形算法。

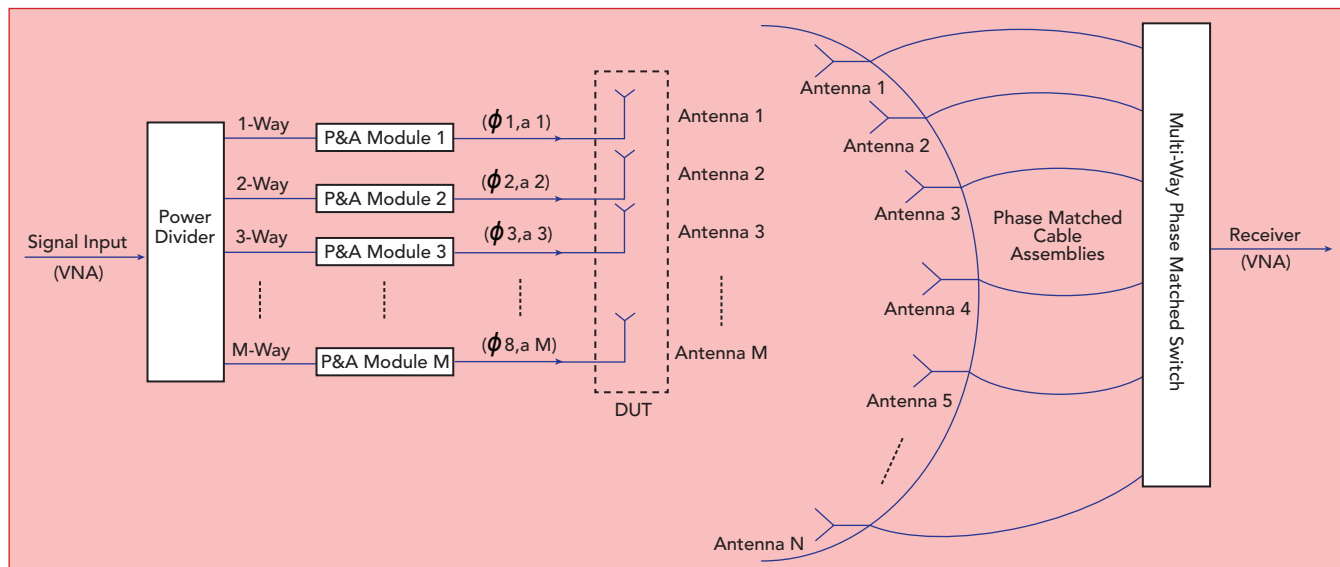
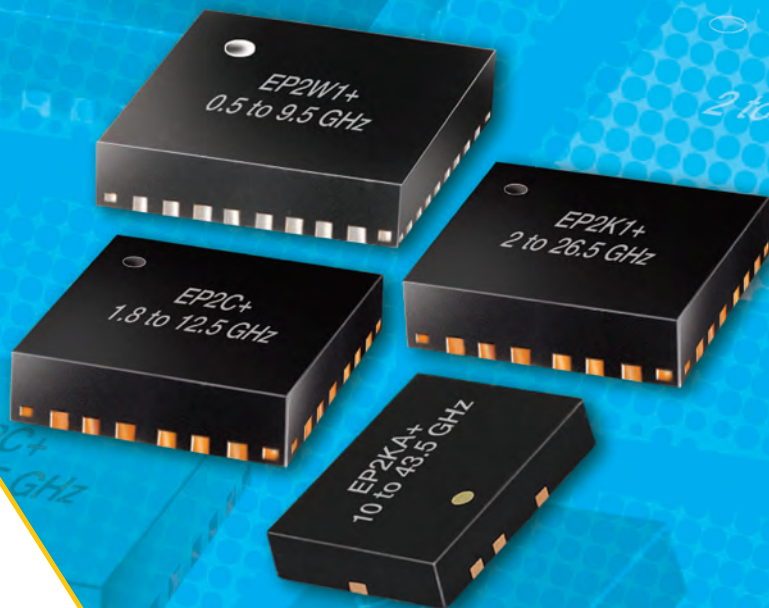


图8: 相控阵天线阵列和OAT测试系统构建。

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

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
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



深圳市安盛特科技有限公司
深圳市福田區彩田南路
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

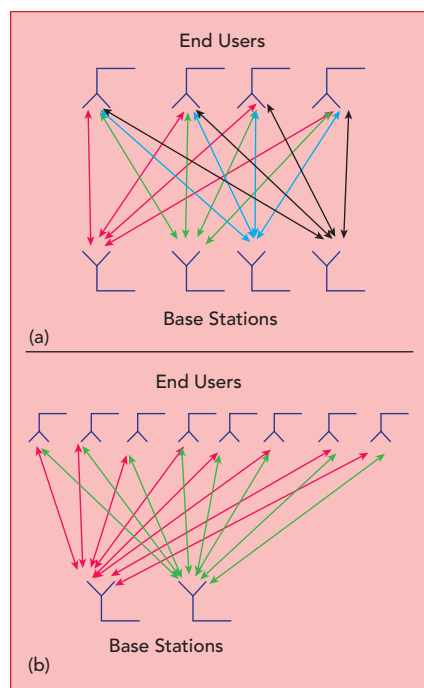


图9：交互式矩阵可以模拟各种基站和用户场景，诸如4×4和2×8。

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，描述了两种场景：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。■