

# 现场天线测量：将天线耦合至电路

In-Situ Antenna Measurements: Coupling the Antenna to the Circuit

John Dunn, National Instruments, Austin, Texas

**络** 电磁(EM)仿真软件通常用于仿真具有多个馈电点的天线，包括相控阵列、具有不同极化的堆叠式辐射器和具有多馈电点的缝隙阵列。这些类型的天线广泛用于采用多输入多输出(MIMO)和极化分集天线配置的通信系统。预计随着5G无线系统的推出，这些天线的应用将会爆炸式增加。

天线波束通过改变进入各种馈电点的信号相位和幅值来进行控制。仿真软件所面临的问题是天线和驱动馈电网络会相互影响。天线方向图可通过设置不同端口的输入功率和信号的相对相位来改变。同时，这些端口的输入阻抗会随天线方向图的变化而变化。由于输入阻抗会影响非线性驱动电路的性能，因此天线方向图的变化会影响系统的整体性能。

直到现在，工程师还必须采用某种迭代过程来手动模拟耦合天线/电路。例如，天线首先通过输入端相位已知的理想信号源进行驱动。然后使用端口的阻抗作为驱动电路的负载阻抗。这个过程反复迭代直至达到收敛。但这个方法效果十分不理想。幸运的是，现在RF/微波设计软件采用新的现场技术，提供了更加高效而精确的方法来获得最终结果。

这些现场测量功能可让电路和天线之间通信，因此在易用的框架中自动实现天线和电路之间的耦合。设计工程师需要确定天线数据源、驱动天线的电路原理图以及要进行的测量，比如扫描角度的辐射功率。这一概念可通过以下相控阵列示例来解释，在该例子中，我们使用NI AWR Design Environment™（包含Microwave Office电路设

计软件、AXIEM三维平面EM和Analyst™ 3D有限元方法(FEM) EM模拟器)来模拟天线。

## 微带贴片阵列仿真实例

这个例子仿真的的是一个4×4贴片阵列。它通过共同馈电网络进行驱动，每个贴片包含一个移相器和衰减器。每个贴片元件对应的移相器前面放置了一个单片微波集成电路(MMIC)功率放大器。阵列在EM模拟器中仅仿真一次。所得到的散射参量文件由包含馈电网络和放大器的电路模拟器加以利用。天线波束通过调整移相器的数值来进行控制。同时每个放大器所连接的天线输入端的输入阻抗会不断变化，这反过来会影响放大器的性能。功率放大器具有非线性电路，我们将其工作区域设置在P1dB压缩点，以获得最大效率。因此，它们对阵列不断变化的负载阻抗非常敏感。

我们之所以需要电路和EM仿真相结合有诸多原因。首先，天线元件之间的相互作用会降低天线性能。一个极端的例子是扫描盲区，天线元件之间的相互作用会导致在特定扫描角度时没有任何辐射。元件之间的耦合也可导致馈电网络共振。为了优化馈电网络以弥补天线的问题，整个阵列和电路的组合必须进行优化。另外也有必要模拟馈电网络本身，因为端口的负载可能会导致馈电网络内部产生共振。

尽管我们并不经常对驱动天线的功率放大器的非线性电路进行仿真，但该仿真也非常重要。因此，天线的散射参量必须包括DC模拟点以及在谐波平衡仿真中使用的各种谐波值。否则，系统性能可能由于谐波频率下

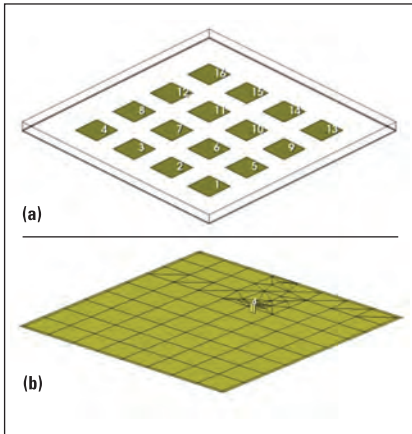


图1. 4 × 4贴片阵列(a)。单个阵元构成的阵列，驱动点连接到接地面(b)。

的匹配度较差而降低。

图1显示了一个4 × 4贴片天线阵列。每个贴片通过连接到地面的引脚单独馈电。端口位于引脚底部。三维平面电磁仿真器是平面贴片阵列的理想选择，因为贴片并没有封装在一起，因此会自动产生辐射效应。应当指出，本文中所描述的仿真技术不依赖于特定的EM仿真器。对于这个例子，我们使用Analyst来模拟天线，Analyst是一个三有限元(FEM)电磁软件。

共同馈电网络如图2所示。每个天线元件由一个MMIC放大器驱动，并通过一个移相器和衰减器进行控制。RF功率从右侧输入。Wilkinson功分器用于分割信号并为十六个贴片馈电。图3显示了一个典型的贴片馈电。图3b详细地展示了发射模块。

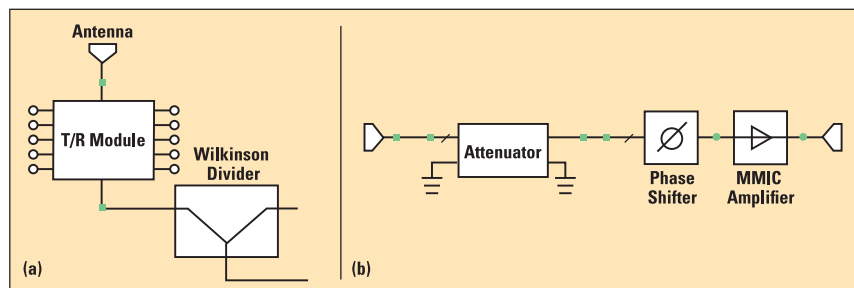


图3. Wilkinson功分器和发射模块(a)，发射模块的框图(b)。

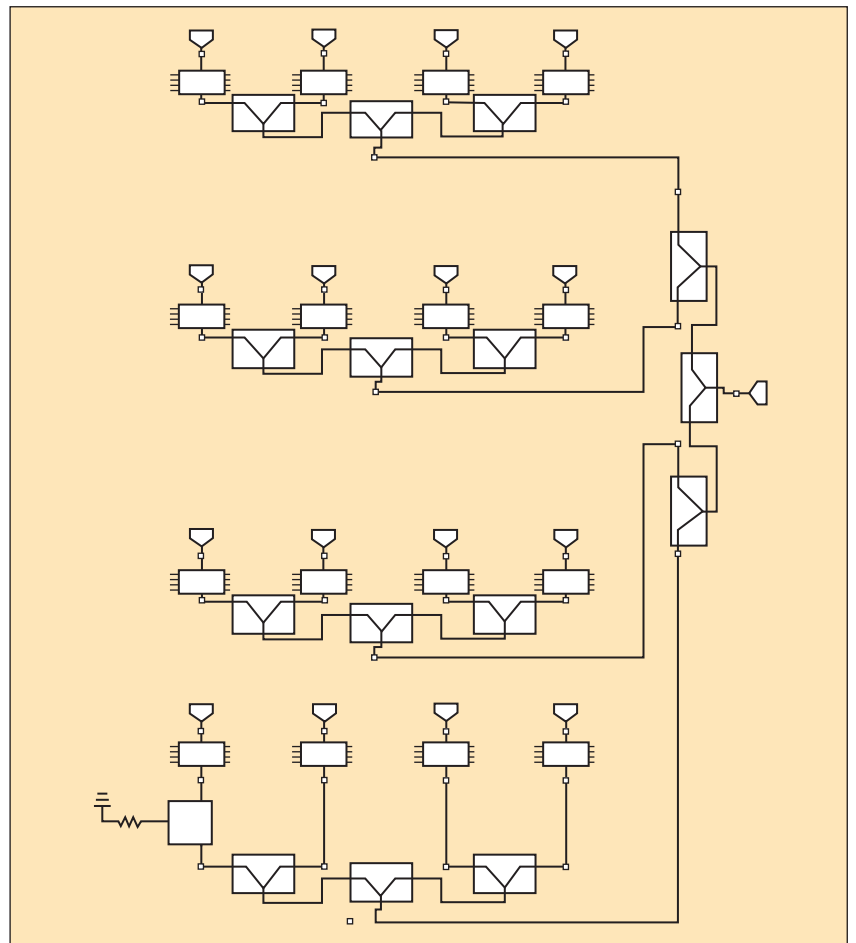


图2. 贴片阵列共同馈电网络。

每个发射模块具有一个移相器、衰减器和MMIC放大器。波束通过改变MMIC放大器输入端的相位和衰减进行控制，然后将所得到的信号路由到贴片上。相位和衰减通过软件中的变量进行控制，可以根据需要进行调整和优化。波束就是通过这种方式进行扫描的。

图4显示了MMIC放大器的三维视图。这是一个两级FET放大器，在X频段下工作。在本例中，整个馈电网络使用电路仿真软件进行模拟。一个更实用的例子是使用EM仿真软件来模拟馈电网络的布局，以确保模型的准确性以及网络各部分之间没有意外耦合。

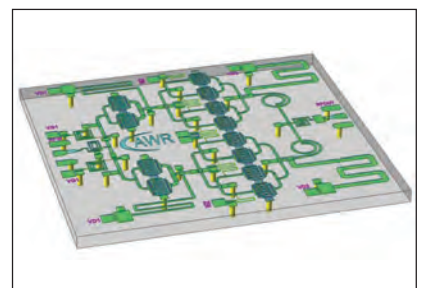


图4. MMIC放大器。

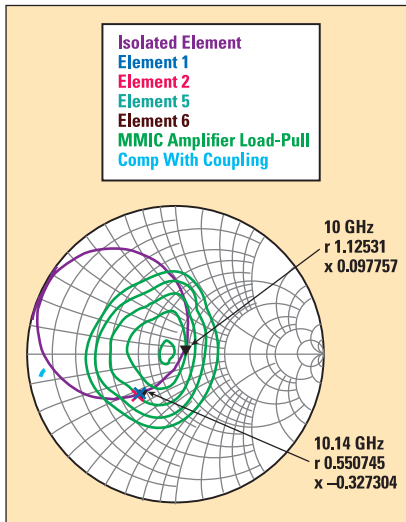


图5.电路仿真结果。

## 仿真结果

图5所示的是一个典型的电路仿真结果。史密斯圆图显示了隔离元件的输入阻抗以及模拟整个阵列时的元

件的输入阻抗。图中还显示了负载上功率的负载牵引等高线图。该系统设计为在10 GHz下工作。紫色曲线表示隔离贴片在50 Ω归一化归史密斯圆图上从6至14 GHz的输入阻抗。标记处显示的是10 GHz时的阻抗。四个交叉表示的是10 GHz下四个典型元件的输入阻抗。注意，阵列中贴片之间的相互作用会使各贴片相对于隔离贴片的输入阻抗发生偏移。绿色等高线表示MMIC放大器的负载牵引仿真结果，显示了输送到负载的功率。天线馈电阻抗的偏移导致输入到元件的功率减少了0.5 dB（功率等高线按0.5 dB递增）。

图6显示了几个天线方向图的例子。波束通过控制发射模块的相对相位和衰减进行控制。在实际应用

中，谐波平衡需要使用16个功率放大器，因而运行时间非常长；因此，波束的控制是在断开放大器的情况下进行的。然后设计工程师接通功率放大器，使其达到所需的工作点。注意在图6c中，当主瓣在接近掠角时形成了一个副瓣。

在图7中，天线方向图针对特定扫描角度进行了优化。这个例子是一个8×8贴片阵列。为简单起见，放大器不进行优化。在完成设计之前，我们接通放大器以确定其对性能的影响。该图显示的是 $\phi$ 为0时 $\theta$ 方向扫描的波束的总功率。蓝色线表示优化目标。紫色图表示原始的侧射方向图。优化器会改变贴片馈电端的相位和衰减。所得到的蓝色曲线具有可接受的旁瓣电平，符合主波束目标。



## 精工精品 领先卓越

专业的系统级测试功放供应商

- 拥有全频段的测试功放产品；
- 满足系统级和设备级测试需求；
- 灵活完整的定制化解决方案；
- 稳定可靠的产品品质；
- 富有竞争力的产品价格；
- 快速、便捷的本地化售后服务；
- 安全可靠的军工保密应用。



我们的功放产品频率跨度为：4 kHz-45 GHz，  
输出功率范围为：1 W-100 kW；  
具体频率及功率可根据客户要求定制；  
应用领域覆盖电磁兼容、军工、通信、汽车、  
医疗、科学研究、空间探索等。

南京纳特通信电子有限公司

地址：南京市江宁开发区临淮街20号 邮编：211106  
手机：+86-13182812282 传真：025-84471786  
邮箱：sales@rflight.cn 网址：www.rflight.cn

全国销售服务热线  
025-84471796-807



进入新质网站

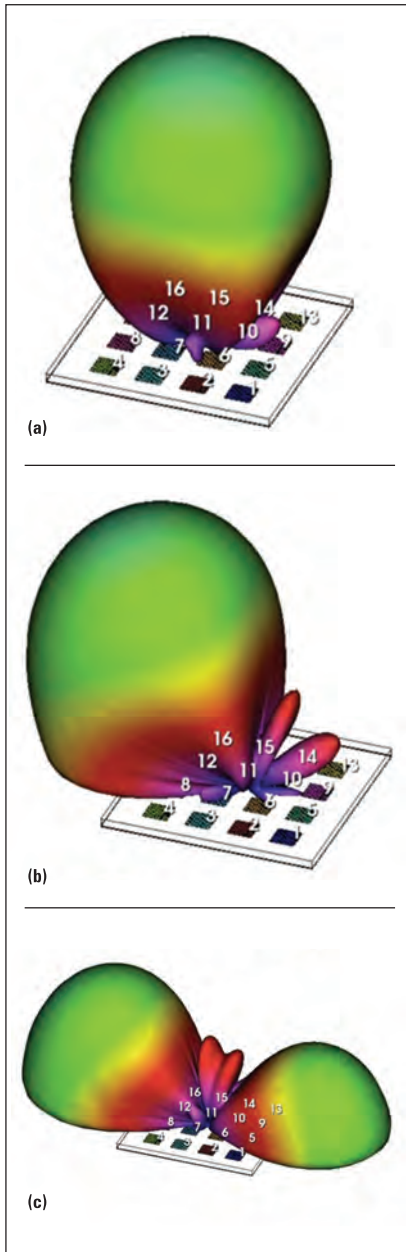


图6.  $\theta$  和  $\phi$  的值。侧射激励(a),  $\theta=30^\circ$  和  $\phi=0^\circ$  时的波束(b),  $\theta=75^\circ$  和  $\phi=0^\circ$  时的波束(c)。

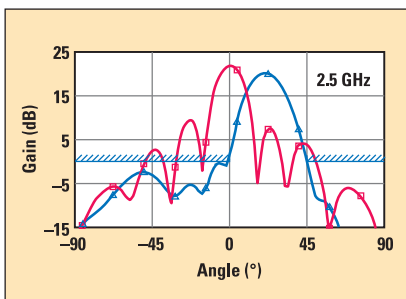


图7.天线方向图优化后,在 $20^\circ$ 扫描角度下的增益高于20 dB,扫描角度低于 $0^\circ$ 和高于 $45^\circ$ 时,旁瓣低于0 dB。

## 结论

当今复杂的通信系统通常使用具有多个馈电点的天线,这类系统必须考虑电路之间的相互作用(通常包括一个高度非线性功率放大器)、馈电网络和天线,波束通过电路进行控制,而且天线的输入阻抗会随着波束的变化而变化,这也会影响电路。天线和电路相互连接,因此仿真时这两者必须包含在内。

过去,模拟具有多个馈电点的天线通常是通过反复迭代手动模拟耦合天线/电路的影响,这非常耗时且结果往往不尽人意。现代RF/微波设计软件可以实现电路和天线的耦合仿真。阵列的负载阻抗也需要纳入电路仿真中。这实现了过程的自动化,缩短了设计周期,使产品能更快地推向市场。■

Microwave Journal China 微波杂志

网络研讨会 WEBINAR

QORVO

## 利用 GaN 扩展蜂窝无线基础设施的可能性

2016年8月17日  
北京时间下午三点

欢迎注册  
[www.mwjjournalchina.com/webinars.asp](http://www.mwjjournalchina.com/webinars.asp)

GaN 已经迅速发展成为促成一系列当前和未来系统的一种技术,但也对 pre-5G 和 5G 网路应用带来了较大影响。本研讨会将讨论 GaN 能够实现哪些功能和如何针对载波聚合扩展带宽;并研究 GaN 如何影响未来 5G 平台的部署。