

制作RF设计原型的较佳方式——使用X-Microwave

Jacob Ciolfi，核心应用助理工程师

摘要

当今基于评估板的RF设计原型制作需要大量的工程时间和资源，而结果可能仍然达不到最终系统在单个板上构建完成后会具有的性能。使用X-Microwave模块化系统制作RF设计原型，可以显著减少测试RF信号链所需的时间和资源，一个下午就能构建和测试最高60 GHz的干净、可修改、接近PCB的原型。本文简要介绍了X-Microwave平台及其优势，以及详细的使用步骤。

简介

对于RF设计，典型的原型制作经验是这样的：为信号链中的每个元器件购买评估板，使用RF线缆将这些板串在一起，粗略估计适当布局的信号链要是构建在单个生产PCB上会有怎样的性能。由于评估板PCB走线较长，并且涉及到大量布线和连接器，因此这种方法会产生相当大的插入损耗。由此得到的原型的上线测试过程也可能令人沮丧且耗时，因为每个评估板都有特定的电压要求。RF器件需要多个具有特定电源轨上电时序电压的情况也很常见，如果违反时序要求，器件可能会损坏。单单电源和RF线就可能造成巨大麻烦，如有电路板需要数字控制，事情会变得更加复杂。如果整个系统在首次开启时没能像预期的那样正常工作，那么调试很快就会变成耐心和毅力的磨炼。原型设计是RF工程界众所周知的一个令人头疼的问题，更快速、更简单、更准确的原型解决方案是X-Microwave。

想象如下场景：您刚刚完成了RF信号链的规划。您走进实验室，拿起零件，在60分钟内就在工作台上制作出原型。您连接一个12 V_{DC}电源、信号发生器和频谱分析仪，首次通电后，您就测量到类似PCB的性能，与仿真的差异在1 dB以内。对放大器的性能不满意？用内六角扳手花10分钟就能换一个放大器，然后测试更新后的设计。

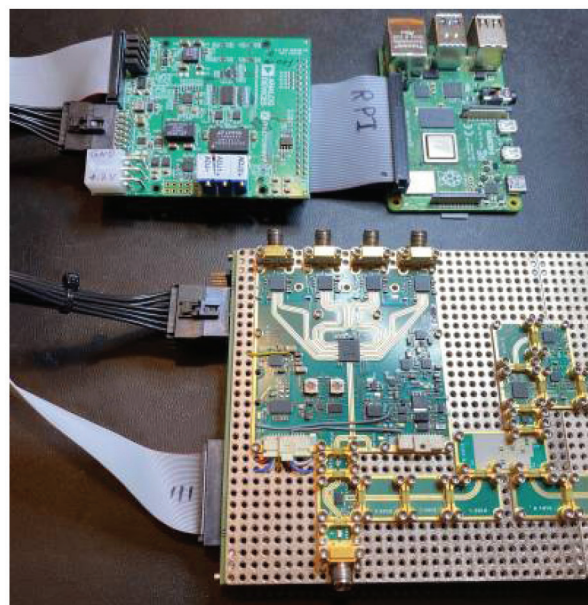


图1. 一个完整的X-Microwave原型，包括电源和数字控制，由FMC-XMW桥接板、X-Microwave信号链和Raspberry Pi组成。

这就是X-Microwave提供的原型制作体验，它是一种模块化RF原型制作平台，不到一个小时就能轻松构建可修改的信号链，无需任何专用工具。这些信号链由X-Microwave模块（可连接的单IC RF板）组成，其生态系统中的器件支持高达60 GHz的频率。RF连接处（即由六角螺钉固定的无焊触点）稳定且易于安装。与评估板相比，该信号链的供电和数字控制要容易得多，控制板需要一个12 V_{DC}电源，驱动器可以是Raspberry Pi、FPGA或您选择的其他驱动器。X-Microwave模块化设计可实现快速信号链编辑，大幅缩短调试时间，并使原型保持紧凑、干净和便携。

X-Microwave解决方案

工程师可以利用X-Microwave获得最终设计单PCB的性能，而原型制作的速度和可修改性则与评估板相当。X-Microwave原型由小型单IC模块组成，这些模块可以串在一起形成信号链。从放大器到混频器、开关、PLL和VCO，X-Microwave生态系统拥有成千上万的RF模块，可支持各种完整的信号链。每个RF模块由单个RF IC（封装器件或裸片）和实现最佳功能与匹配所需的周围无源元件组成。X-Microwave特别注意RF布局和设计，以确保器件性能尽可能接近数据手册中的规格。在每个RF模块上，接地的共面波导走线从IC延伸到模块边缘上的测试接头。在这些测试接头与相邻模块之间使用无焊接地-信号-接地(GSG)互连实现RF连接。这些互连非常类似于连续PCB走线，与评估板的大连接相比，X-Microwave原型的整体性能可以更准确地反映最终系统性能。X-Microwave的每个GSG跳线连接的插入损耗只有几分之一dB，随着信号链中器件数量的增加和所需互连的增多，X-Microwave和SMA链接的评估板之间的插入损耗差异会变得更加明显。

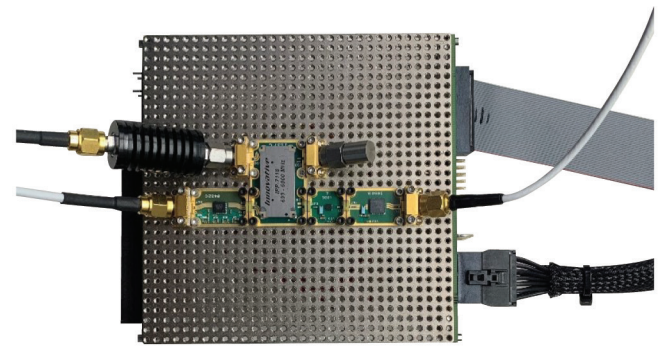


图2. X-Microwave信号链。

RF模块一起安装在原型板上，SMA探头模块连接到信号链的末端，以使RF信号输入和输出电路板。X-Microwave还有用于封闭RF模块的板壁和盖片，支持用户模拟空腔效应。

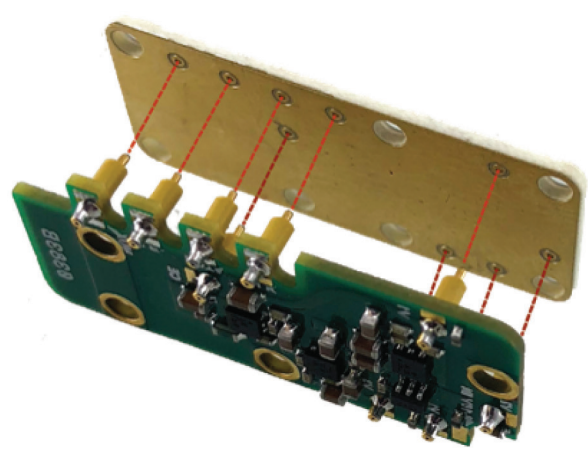


图3. 一个偏置和控制模块（底部）连接到一个RF模块（顶部）。未显示原型板。

安装在原型板底部的专用偏置和控制板提供电源和控制信号。每个有源RF X-Microwave模块与专用的偏置和控制板配对，后者具有所需的电路来提供RF器件需要的稳定电压、上电时序和数字控制。偏置和控制板安装到原型板的底部，位于其所支撑的RF板正下方，通过弹簧销与上面的RF板进行电气连接。上电时序和偏置由这些专用模块处理，原型设计人员可以专注于设计中真正重要的事情——RF性能。

X-Microwave原型的表现与最终设计更相似，而不是类似于一串评估板，并且随着RF链中器件数量的增加，这种差异变得更加明显。利用X-Microwave原型验证设计后，您可以更有信心地开展评估工作，最大限度地减少PCB迭代次数，加快开发过程。

全部连接起来：RF信号链原型制作

使用X-Microwave创建RF设计类似于设计任何其他RF信号链。为了快速找到所需要的X-Microwave模块，X-Microwave提供了器件搜索功能，您可以按照类型、规格和制造商进行筛选。如果您正在浏览IC制造商的网站，X-Microwave生态系统支持的器件的网页上通常会显示X-Microwave横幅。

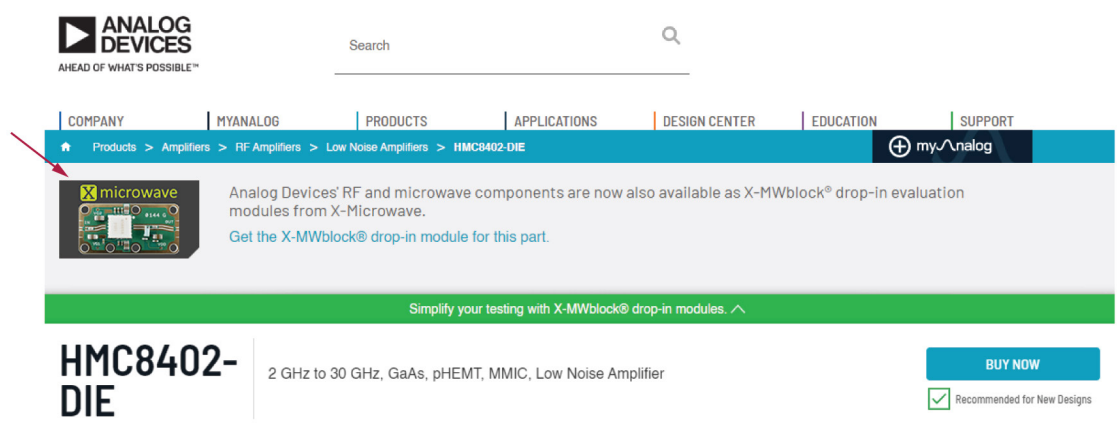


图4. HMC8402-DIE网页上的X-Microwave横幅。

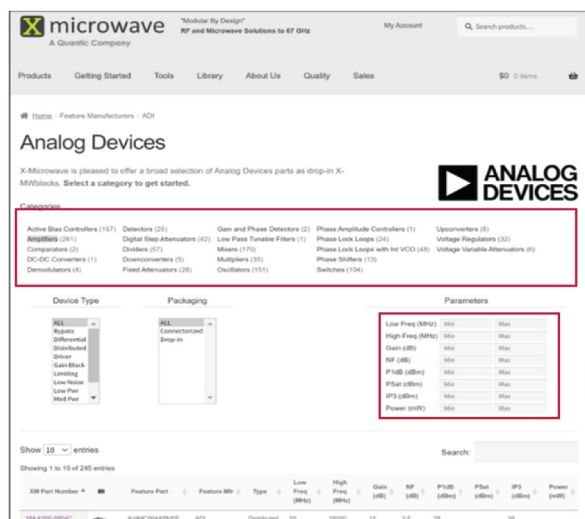


图5. X-Microwave的参数搜索功能示例，按制造商排序。

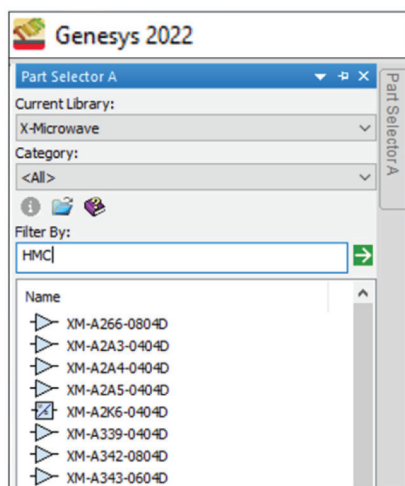


图6. Genesys器件选择器中的X-Microwave库示例，器件可通过RF IC产品型号搜索。

一旦选定了器件，下一步便是对建议的信号链进行仿真。Keysight的Genesys®软件是一种RF仿真工具，内置了X-Microwave模型库。这些X-Microwave模型对RF X-Microwave模块进行了从测试接头到测试接头的仿真，无需去除走线，与去除走线的IC仿真相比，X-Microwave板的仿真精度更高。丰富的X-Microwave库为许多没有直接来自IC制造商的Genesys模型的器件提供了模型。

在Genesys中运行仿真并达到您满意的性能后，就可以使用X-Microwave的布局工具了——不需要一小时您就能完成整个RF布局（包括添加电源！）。该布局工具可以通过X-Microwave在线访问。RF工程师可以使用该布局工具来规划原型板上信号链中的X-Microwave模块的布局图。布置好RF模块后，只需单击一个按钮即可自动添加偏置和控制板。信号链中使用的所有器件都会

在右上角的物料清单(BOM)中实时更新，其中还有一个**Export CSV**（导出为CSV）按钮。 .csv文件包含一个BOM，当您准备好开始采购时，您可以将其发送给X-Microwave以获得正式报价。

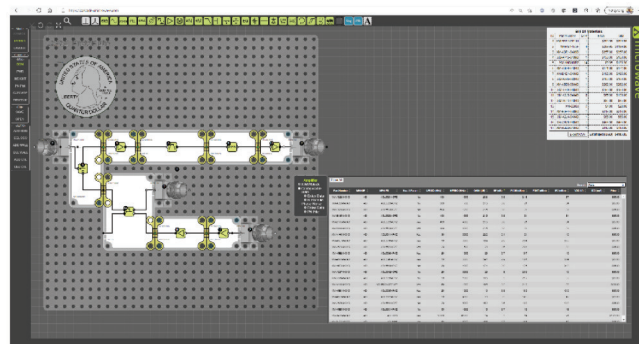


图7. X-Microwave布局工具中的一个示例设计，显示了规划的信号链并突出展示了器件选择器和BOM功能。

除了构成信号链所需的RF模块、偏置和控制板外，您还会注意到BOM上有几个额外的零件，这些零件是电气连接和机械安装上述模块所需要的。首先是原型板，它以两种尺寸销售——32 × 32和16 × 16，其中的32和16指的是X-Microwave网格单元或板上螺丝孔之间的间距。您还需要GSG跳线和锚点。GSG跳线是小型灵活的矩形电路，放置在相邻RF模块的测试接头上以形成RF连接。锚点在GSG跳线两端拧入，以将其固定到RF模块，并确保电气连接连续。

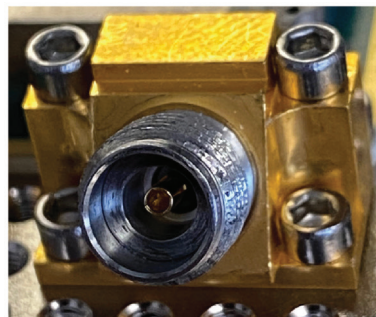


图8. X-Microwave探头，有2.92 mm或1.85 mm可选（图中所示为2.92 mm）。

将外部RF信号源连接到信号链需要X-Microwave探头。根据所用的频率，有两种不同的探头可供选择：2.92 mm和1.85 mm。据称，2.92 mm探头在50 GHz范围内表现良好，而1.85 mm探头在X-Microwave的67 GHz测试上限之上仍能工作。您还需要螺钉以将所有东西安装到原型板上。总共有七种不同的螺钉长度可以使用，最短的用于安装偏置和控制板，最长的用于安装上方有盖片的X-Microwave板壁边缘。最后是连接所有部件的工具——1/16英寸内六角扳手用于拧紧螺钉，镊子用于将小物件放在小点上。一旦RF、偏置和控制模块到货，您就可以按照您使用X-Microwave在线布局工具制作的布局图组装您的电路板。

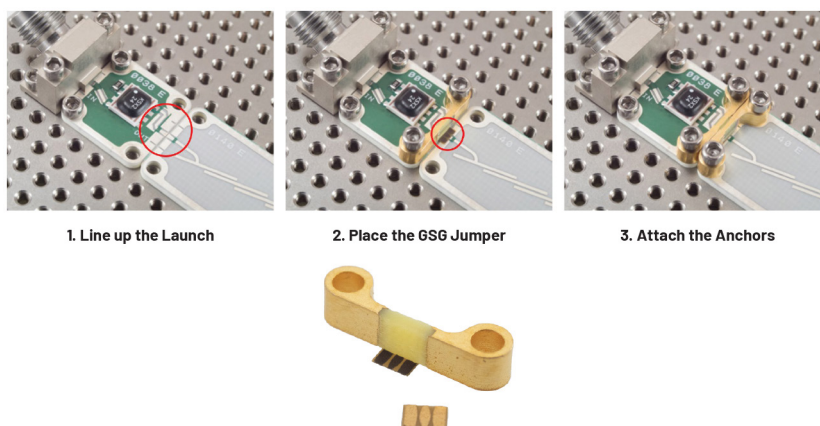


图9. GSG安置步骤（上）。GSG和锚点（下）。

现在，您只需要为电路板供电并接上数字控制就可以进行测试了。要将电源和数字控制连接到偏置和控制板，[AD-FMCXMBR1-EBZ](#) 桥接板是不错的选择。它提供多达8条GPIO线、2条完整的SPI总线（每条总线有8条片选线），以及2条完整的I2C总线。桥接板还提供两种不同的数字控制模式：(1) Raspberry Pi，直接连接到桥接板，用简单的几行Python脚本就能驱动信号链，或(2) FPGA，通过桥接板上的FMC连接器与X-Microwave信号链接口，支持在制作硬件原型的同时开发和测试接近量产的软件。连接到桥接板的单个12 V_{DC}电源为X-Microwave信号链提供七个不同的电压轨，其中三个可利用电位计进行调节。其他一些设置（包括桥接板电平转换器）可以通过跳线选择。最后，桥接板仅用两根线缆连接到X-Microwave原型，使得RF实验室工作台上完全不是杂乱无章的样子，这与通常状态——迷宫般的香蕉线缆和鳄鱼夹——形成鲜明对比。桥接板连接紧凑且干净的X-Microwave RF原型后，为数字控制和电源添加一个优雅的解决方案，使整体硬件解决方案尺寸最小化，非常便携，十分适合演示和旅行。展示X-Microwave原型所需的唯一额外设备是RF源和RF测量工具。

干净的实验室工作台和模块化生态系统使得调试更快速、更高效，达成量产遇到的麻烦更少，所需的工程设计时间更短。

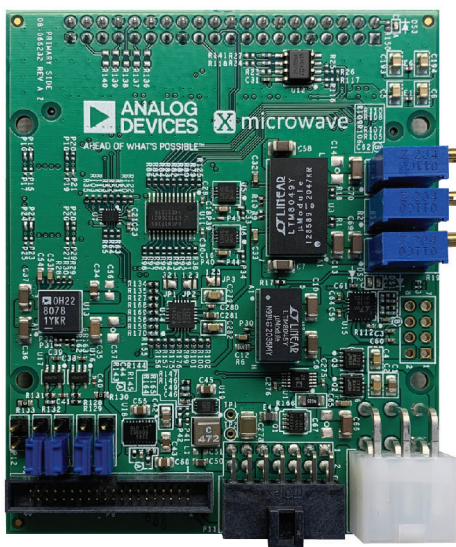


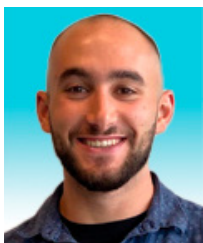
图10. FMC-XMW桥接板AD-FMCXMBR1-EBZ。

结论

传统上，RF原型制作耗费了过多的工程时间，带来过多挫败感，而X-Microwave（几乎）解决了与常规评估板RF原型制作相关的一切痛苦。X-Microwave是当今更快速、更准确的原型设计流程，最高支持60 GHz，可实现更紧凑且易于修改的设计以简化信号链调试和实验。当与ADI公司的FMC-X-Microwave桥接板一起使用时，X-Microwave原型也非常便携，只需一个12 V_{DC}电源用于供电和一个Raspberry Pi进行数字控制，每个信号链都能成为可以装进小鞋盒的演示品，设置时间比加载幻灯片所需的时间还短。比起当前原型制作实践，实现这种性能水平所需成本更高是合乎情理的，但除了一次性启动成本外，使用X-Microwave进行原型制作的成本常常与使用评估板构建系统的成本相当。即使不考虑工程时间缩短给最终效益带来的好处，一些X-MWblocks®实际上也比其对应的评估板方案更经济。

致谢

感谢帮助我完成这个项目的许多优秀的人，首先是Steve Ruscak和Jeff Stevens，他们为此项目提供了指导，并协助我完成文章的撰写。还要感谢我的RF导师在实验室提供的宝贵帮助，感谢Wesley Harris和Sydney Wells在成文的早期提出的建议，感谢Carolyn Reistad的宝贵意见和建议。



作者简介

Jacob Ciolfo担任现场轮岗培训计划助理工程师，主要负责RF应用。他拥有伍斯特理工学院电气和计算机工程学士学位，于2021年加入ADI公司。在闲暇时间，Jake喜欢打排球、烹饪和旅行。

