

模块化大规模射频开关矩阵的设计

王琦

Pickering Interfaces Ltd.

1 引言

在测试测量领域中，高性能的程控开关系统可以大幅度提高测试系统的灵活性，并且能够提高测试系统的测试效率和可靠性。

由于测试系统的用途多样——产品研发验证、批量生产测试、故障诊断与检修；而且每种应用中被测信号的数量与特性的要求也千差万别，所以一套完善的开关系统可能包括多种开关设备，以及配套的附件和管理软件。而针对不同的应用领域，需要根据行业特性并结合具体的应用，设计和生产具有针对性的开关产品，充分保障用户的利益，这是测试仪器开发者的职责。

PXI和LXI在目前的测试测量行业内应用十分广泛，每种平台上都有数量极大的产品资源供用户选择，并仍然不断推出新产品。以下通过两个实际案例，介绍在产品规划时，同样基于模块化的理念，但充分考虑行业和应用特性，合理选择硬件的接口形式进行产品设计，并合理优化软件设计，最终取得成功。

2 从LXI到PXI，面向商用市场的射频开关设计

在商用市场上，测试需求多样，被测产品更新与迭代迅速，因而设计以信号开关为代表的测试测量设备时，多选择小型化、模块化的通用基础平台，便于用户快速开发和升级。以面向汽车电子设备的生产测试为例，每套测试系统需要对多达数十种被测件进行功能测试，这些被测件的功能不同，IO数量和引脚定义的区别也很大，这就意味着要有一套合理的开关系统，能够同时管理多种电源/信号的通断和路由，一般包括但不限于以下类型：

1) 额定电流高达40 A的SPST开关或多路复用开关，用于通断和分配电源通道；

2) 额定电流10 A的多路复用开关用于驱动中小功率负载；

3) 大规模矩阵开关用于对低频信号进行路径管理，提高测试系统的通用性和可扩展性，典型的配置如184×8开关矩阵；

4) 适用于串行通信总线切换的开关，用于切换CAN、LIN等通信线路

或用于进行故障注入测试；

5) 射频矩阵用于切换各种射频信号，如802.11b/g/n/ac、蓝牙、蜂窝网络等。

随着各种无线新技术的发展，不仅在汽车电子领域，同时在无线通信、智能设备/家居等行业的测试系统中，对射频矩阵的规模和性能的要求都越来越高，对信号带宽、切换速度、开关规模、小型化、易用性的极致追求，迫使仪器制造商引入新技术和产品以适应新的变化。

目前在商用市场，6 GHz的4×4开关矩阵可以较好地适应主流的测试需求。经典的解决方案是采用LXI接口的电磁继电器开关矩阵，采用电磁微波继电器的开关产品，其射频特性与低频性能极好，可承受的功率大，因而这种方案在军工电子测试和通信设备测试中应用非常广泛。但存在体积大、切换速度慢以及价格昂贵的缺点。

新的设计采用射频固态继电器和PXI接口的开关模块，在不过多损失性能的前提下成功地实现了对上述缺点的弥补，以仅1/3的价格，实现了良

好的性能。更重要的是，固态继电器有着几乎无限的使用寿命，非常适合应用于各种测试批量大，成本控制严格的商用测试系统。

如图1所示为两种产品的尺寸对比。图1中左侧为基于LXI的电磁开关矩阵(10 GHz)，可扩展，无端接器；右侧为基于PXI的固态开关矩阵(6 GHz)，不可扩展，含端接器。



图1 两种4×4射频开关矩阵产品的尺寸对比

为实现高集成度的射频矩阵，模块内设计为由多路复用器来构建矩阵的二

级结构。多路复用器是此模块最基本的功能单元，每单元由4个SPDT固态继电器和1个50 Ω端接器组合而成，通过8个多路复用器单元相互连接构成了4×4开关矩阵，可在10 MHz~6 GHz范围内对信号进行选通。

除了良好的硬件设计，软件也是保证用户成功应用的重要因素。该设备的驱动程序最大程度简化了用户的操作，屏蔽了复杂的开关控制，用户在操作时仅需通过纵横坐标设置信号通道的选通和阻断，驱动程序会自动映射为各继电器的设置状态。

由于该产品具有良好的综合性能，目前已经成功应用于多种测试系统中。

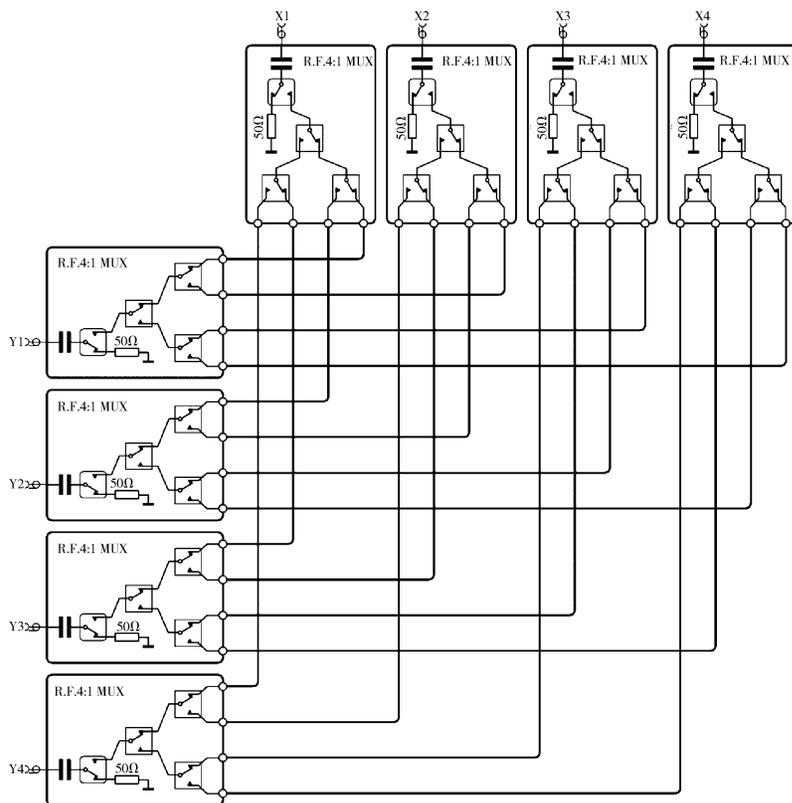


图2 PXI 6 GHz开关矩阵内部结构示意图

3 从PXI到LXI，面向科研应用的射频开关设计

由于射频连接器尺寸的限制，在单个PXI模块上通常难以实现较大规模的射频开关矩阵。常用的典型产品如12×8/300 MHz。

为了方便进行矩阵扩展，在部分产品上设计了级联端口，可以采用更简洁的系统设计方案来实现较大规模的开关矩阵，例如采用可以在单个PXI模块上实现8×9可进行列扩展的开关矩阵。

在某些高能物理科研领域，信号采集点的空间分布范围大，数量多。相应的测试系统需要配置很大规模的射频开关矩阵解决方案，通常测试点可达数十甚至上百个并可以随时进行调整，列数可达8或16，信号带宽>200 MHz。

如图3所示为一个典型的PXI矩阵模块列扩展示例，5块8×9射频矩阵模块构建了一套8×45矩阵开关系统。

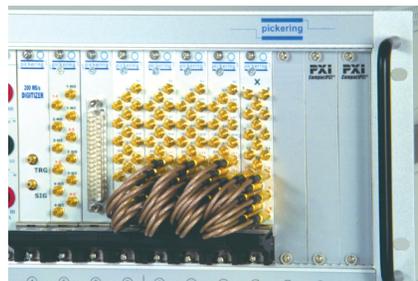


图3 通过外部电缆扩展射频矩阵的规模

显而易见这种扩展方法将需要大量的射频电缆。一方面容易造成系统性能瓶颈，而且降低了大系统的可靠性，另一方面使用者对多个分立模块进行编程操作也是一项巨大的挑战。

因此仅适合扩展少量模块来构建中小规模的开关系统。

为实现规模更大、性能更优、可靠性更高、操作更便捷的射频开关矩阵，必须重新对整个系统进行全新设计，减少接线数量，通过技术手段保证信号的完整性和整个系统的扩展性。

新的开关系统的设计主要针对以下几个方面进行优化：

1) 脱离PXI平台，采用LXI平台。对于本例的射频开关系统来说，PXI平台有限的模块尺寸与前面板面积不适合大量布置尺寸较大的开关器件与连接器，天然限制了射频与微波开关系统的规模，因此采用对机械结构限制较少的LXI平台更适合搭建大规模开关系统。

2) 采用模块化设计，用户可以简单地通过模块的增减来调整开关系统的规模。将开关系统分解为规模较小的开关模块，用户根据实际需要可以灵活配置所需模块的数量与模块种类。本系统中共设计了4种模块，分别是8×8矩阵开关模块，8×16矩阵开关模块，Y1~Y8引出模块，Y8~Y16引出模块。可以根据系统需求构建8行或16行，具有不同列数的射频矩阵，通过开关模块与行引出模块的灵活组合，可以在4U机箱中实现从24×8到104×16多种规模的射频开关矩阵信号，信号带宽可达200 MHz，可用带宽可达500 MHz。

3) 软件系统可以自动根据模块的数量进行配置，可以大幅度简化用户的编程操作。用户无需通过软件对系统进行配置，此仪器的固件系统设计了完善的模块识别与自动管理功能，开机时自动识别当前配置，有效减少用户的工作量。

4) 以精确设计的公用阻抗匹配底板连接所有模块的射频信号的公共通路，无需外部接线即可实现扩展。本系统最突出的特点是大幅减少了外部接线数量(与图3对比)，射频信号通过底板传送，底板上布置的隔离继电器确保了整个系统具有最佳的射频性能。



图4 模块化射频开关矩阵内部结构及模块

4 以上两类应用的对比

前面介绍的这两个典型案例，完

整地展现了行业和应用对产品设计方案的影响。

5 总结

射频技术的发展对测试技术提出了更高的要求，同时也推动了测试技术的发展。开关技术作为测试技术的典型代表，近年来发展迅速，用户对设备尺寸、价格、可维护性等方面均提出了更高的要求。在不同类型的应用中，用户对产品的需求也不尽相同。本文通过商用和科研两种实际应用的对比，展示了以用户需求为导向的产品设计思路。

PXI和LXI是目前测试测量领域应用最广泛的两种硬件平台，各自具有非常突出的技术优势，在应用中具有良好的互补性，在进行产品设计的时候合理选择，能够充分发挥出各自的优点。

基于成熟技术的射频开关系统，未来有着十分巨大的发展潜力，希望以上案例能够为行业工作者带来一些启发。

表1 产品规划矩阵

	商用6 GHz矩阵	科研用200 MHz矩阵
可用频率范围	数MHz~6 GHz	DC~200 MHz
连接器数量	8个SMA (仅需少量面板空间)	>100个SMB (需要大量面板空间)
开关规模	4×4	从24×8到104×16 (需要大量电缆，或采用专用底板)
扩展性	无	可扩展
自动端接	有	未要求
切换速度	us级 (适合采用固态继电器)	ms级 (适合采用舌簧继电器)
寿命要求	长	长
尺寸要求	小 (PXI)	不限 (LXI)
综合以上需求，最适合的产品形式	PXI模块，使用固态继电器作为开关器件	采用LXI接口和专用射频底板的模块化设备，射频舌簧继电器作为开关器件