

射频与微波开关系统的设计与应用

王琦

Pickering Interfaces Ltd.

摘要: 随着802.11ac和LTE产品的发展,对相应的功能测试系统也提出更高的要求。与测试分析仪器相匹配的开关系统在尺寸,结构形式,性能等多方面均发生了较大的变化。采用6 GHz固态继电器作为核心器件,使开关系统的体积更紧凑,切换速度更快,并大幅降低了系统成本。

关键词: 开关; 矩阵; 射频; 微波; 802.11ac; LTE; MIMO; LXI

1 射频/微波开关系统的技术特点

随着无线通信技术在军民各种领域应用越来越广泛,与之相应的测试测量工具和技术也相应迅速发展。在各种射频/微波信号测试与仿真系统中,合理部署质量可靠、性能稳定、使用方便、价格适中的开关系统可以大幅提高设备应用效率,扩展系统规模。

与低频开关矩阵系统相比,构建与扩展射频/微波开关矩阵系统具有独特的特点,这些特点主要体现在机

械结构、电气性能、使用方法、价格成本等方面。

在面向汽车电子测试、半导体测试等领域的应用中,广泛采用的矩阵开关系统通常基于低频或射频继电器,通过合理设计PCB来实现大规模的矩阵开关系统。继电器置于行“总线”与列线的交叉点位置,用于建立或断开信号连接,通过设计不同的行线与列线数量可以实现不同规模的开关矩阵。在PXI单槽模块中可承载超过500个开关节点。如图1所示为低频与射频开关矩阵内部的典型结构。

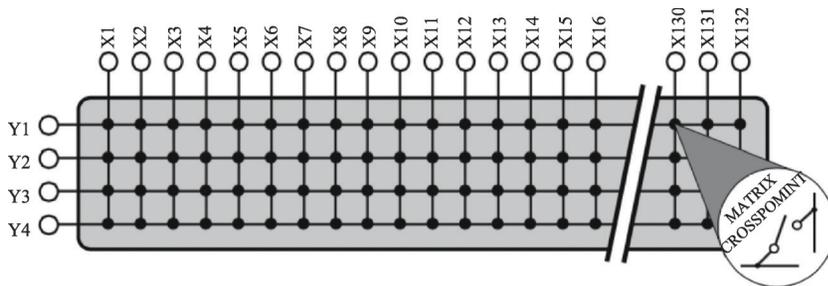


图1 低频开关矩阵结构示意图

这类开关系统产品规格众多,用户可以根据测试需求直接选择规模和电气指标适当的产品,也比较容易通

过多个模块相互连接进行规模扩展。如图1所示,将两个模块的Y1~Y4对应连接即可将2个132×4规模的开关矩

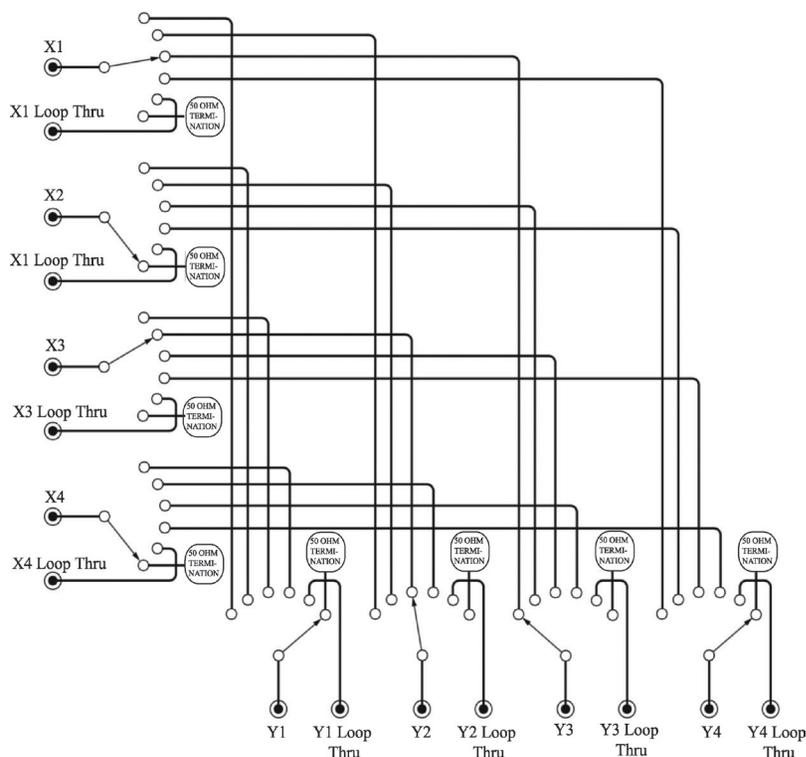
阵组合为1个264×4的开关矩阵。

对于低频开关矩阵,产品硬件设计的重点是保障良好的导通性能与尽可能高的信号带宽,提供完备的故障诊断工具并在硬件设计上充分保证用户快速维修。

而对于射频与微波应用,开关系统的设计具有其独特的特点。为了保证射频性能,一般采用多个多路复用开关的相互组合来实现射频矩阵,以保持每个通道的信号完整性。如图2所示为10 GHz 4×4开关矩阵的内部的典型连接关系示意。

微波开关矩阵产品内部的特殊结构对矩阵系统的电气和机械性能产生以下影响:

1) 射频性能: 每建立一个信号通道,微波信号至少需要通过2个微波开关触点和3条微波电缆,使得通道的插入损耗和VSWR升高,因此高性能的器件和良好的装配工艺可以显著提高最终产品的性能。通常10 GHz的4×4矩阵VSWR不高于1:1.6,插入损耗不高于3.6 dB。

图2 自动端接并可扩展的10 GHz 4×4 微波开关矩阵结构示意图

2)产品机械结构:微波多路复用器器件的尺寸通常比较大,以典型器件Radiall 12.4 GHz SP6T微波继电器为例,其外部尺寸达到了 $63.5 \text{ mm} \times 63.5 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$,而低频与射频继电器的典型尺寸仅为 $4.8 \text{ mm} \times 7.6 \text{ mm} \times 19.1 \text{ mm}$,因此大规模微波开关矩阵更适合采用独立设备的形式。

3)扩展性:低频开关矩阵的扩展可以采用线路直接并联的方式,而射频与微波开关矩阵在进行规模扩展时必须保持信号通路完整,应通过扩展端口(Loop-Through)连接两个或更多开关设备。如图2所示,每组SP6T基本单元中有1个通道用做扩展端口,1个通道用做自动端接器端口,

以保证多个 4×4 矩阵可以连接组成 4×8 , 8×8 等规模。

4)操作:由于微波矩阵内部结构的特殊性,使得用户使用时需要操作的开关数量增加,提高了使用难度,但通过优化的驱动软件,用户几乎可以无需了解其内部结构。

5)使用成本:微波开关矩阵的价格昂贵,因此在设计测试系统时必须严格优化微波矩阵,将其控制在一个合理的规模。在进行连接时必须严格注意线缆与设备的连接器是否匹配,一旦损坏接口连接器将可能导致高昂的维修费用。

2 实际案例:802.11ac/LTE MIMO测试中开关产品的设计

近年来随着802.11a、802.11n、

802.11ac等采用5 GHz载波的无线通信技术的发展,与之性能相匹配的测试产品也不断进步。

针对MIMO测试,广泛采用的是多组VSA与VSG的组合,典型的系统为支持 4×4 MIMO的802.11ac测试系统可以在1个18槽3U PXI系统中实现。

通过开关系统可以将其进一步扩展为可支持多个被测设备的自动测试系统。一种解决方案是基于前述微波电磁继电器(或称机电继电器)构建微波开关系统。图3为典型的10 GHz 4×4 微波矩阵产品解决方案,采用LXI通信接口,尺寸为2U全尺寸可上架机箱,单价可达¥150 000。

图3 4×4 10 GHz微波矩阵

上述产品曾大规模应用于消费电子产品的生产测试,用户对其性能比较满意,但其尺寸较大,切换速度相对较低,价格昂贵,这些不利因素限制了其在商用领域应用的空间。在此类测试中,对开关的技术要求主要体现在:切换速度快,使用寿命长,体积小,信号功率较低。6 GHz固态继电器开关的出现恰恰使得应用于MIMO测试的开关系统得以进一步优化。6 GHz恰好覆盖了包括802.11ac在内的各种无线通信新技术的载波频段,弥补了此前在3~10 GHz开关矩阵产品的空白。

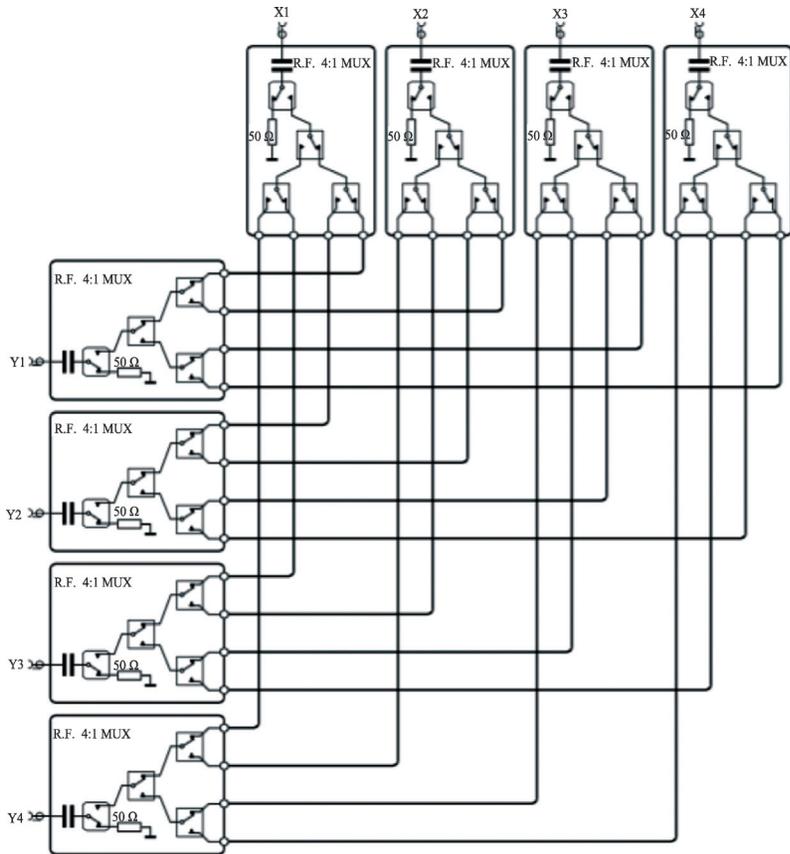


图4 4 × 4 6 GHz固态继电器矩阵结构示意图

表 1 10 GHz 开关矩阵与 6 GHz 开关矩阵特性

	电磁继电器产品	固态继电器产品
可用频率范围	DC~10 GHz	10 MHz~6 GHz
VSWR	1.6	Y至X: 1.6 X至Y: 1.65
开关规模	单组或双组4x4	单组4x4
插入损耗	3.6 dB	6.5 dB
级联端口	可选	无
自动端接	可选	有
切换速度	18 ms	50 μs
功率	60 W	30 dBm(1 W)
寿命	低负载每触点500万次 高负载每触点30万次	在规定使用条件下无限
控制接口	LXI	PXI
尺寸	19" , 2U, 500 mm	3槽PXI 3U模块
价格	约¥ 150 000	约¥ 55 000

6 GHz开关产品的基本功能单元是由4个固态SPDT开关和1个端接器构成的SP4T多路复用器，如图4所示。通过SP4T功能单元的组构成4 × 4开关矩阵。固态继电器的使用大幅减小了电路的尺寸，并将通道切换速度从ms级提高到μs级。6 GHz开关矩阵完全符合当前对新一代无线通信产品的测试需求，其尺寸仅占3个PXI槽位，价格仅为原解决方案1/3左右，大大降低了开关系统成本。配合成熟的驱动程序和应用软件，此产品已经成为新一代测试系统的首选。

如表1所示为10 GHz开关矩阵与6 GHz开关矩阵两种产品的典型特性对比。

3 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。本文以两种典型案例介绍了射频/微波开关系统的最新发展及其特性。

参考文献

- [1] PXIimate 5th Edition, Pickering Interfaces, 2014.
- [2] LXIimate 3rd Edition, Pickering Interfaces, 2014.