

测试系统构建基础知识

# 开关和多路复用

目录

引言

开关架构

如何为应用选择最佳开关

下一步

## 引言

许多自动测试应用需要将信号路由到各种待测仪器和待测设备(DUT)。通常，解决这些应用的最佳方式是部署开关网络来实现仪器和设备之间的信号路由。开关不仅可实现这种信号路由，而且也是一种经济有效的方式来增加昂贵仪器的通道数，同时增加测量的灵活性和重复性。

为自动测试系统添加开关有三种主要方法：自行设计和构建开关网络；使用基于GPIB或以太网控制的独立开关盒；或使用包含一个或多个仪器（例如数字万用表(DMM)）的模块化平台。开关基本上必须与其他仪器结合使用，因此通常需要与这些仪器的紧密集成。现成的模块化方法可以满足大多数常见测试系统中固有的这些集成挑战。本指南概述了将开关和多路复用器集成到测试系统的最佳做法。

## 开关架构

开关是扩展仪器通道数的一种经济高效的选项，但并不总是最佳选择。开关架构有四种主要类型：

1. 无开关
2. 仅在测试机架中采用开关
3. 仅在测试连接件中采用开关
4. 在测试机架和测试连接件中采用开关

下表列出了所有四种开关架构的优点和缺点。

	灵活性	吞吐量	成本	基本测量 (mV、 $\mu$ A、m $\Omega$ )
无开关	○	●	○	●
仅在测试机架中采用开关	●	◐	●	○
仅在测试连接件中采用开关	○	◐	◐	◐
在测试机架和测试连接件中采用开关	●	◐	◐	◐

低 ○ 平均 ◐ 高 ●

表1.各种开关架构的优点和缺点

## 无开关

在第一种架构中，待测设备(DUT)与测试系统仪器之间的信号路由没有使用任何开关。这样的系统通常具有专用于每个测试点的单个仪器通道。

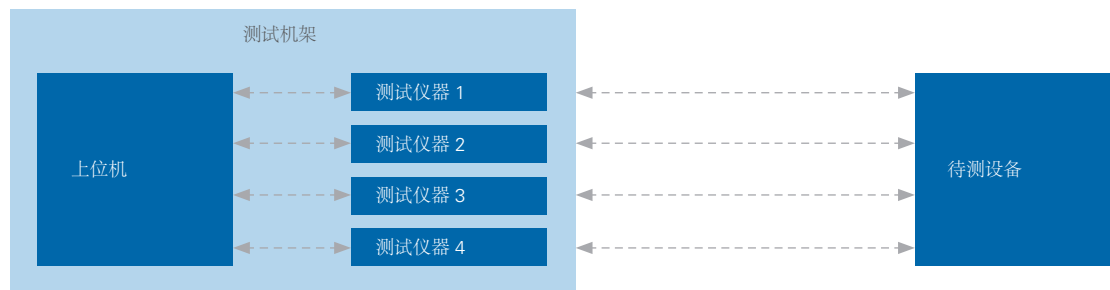


图1. 无开关测试系统直接将每个仪器连接到待测设备。

### 无开关架构的优点

电缆和开关经常会降低信号的完整性。如果不使用开关，则可以为测量仪器提供更直接的路径，从而提高测量准确性。除了提高测量准确性外，您还可以实现更快的测试速度。通过为每个测试点提供专用仪器，您可以进行并行测量而不是顺序测量，从而提高测试吞吐量。

### 无开关架构的缺点

为每个测试点提供专用仪器成本非常高。另一个缺点是可扩展性。如果不使用开关的情况下构建测试系统，测试机架的空间很容易就耗尽。这可能需要完全重新设计测试系统，导致额外的硬件变更、软件更新和重新验证成本。例如，假设测试系统使用20个PXIe-4081数字万用表(DMM)并行测试20个电阻温度检测器(RTD)传感器。而且系统需要扩展到测试40个RTD传感器。这时需要添加20个DMM，从而需要20个额外PXI插槽。另一种方法是，可以使用单个PXIe-4081 7½位DMM以及一个开关，按顺序测试所有40个RTD传感器，这只需要两个PXI插槽。

### 什么情况下采用无开关架构

对于添加电缆和开关会导致信号失真的超级敏感型测量，或者需要将测试时间降至最低的应用，则通常建议采用无开关架构来构建测试系统。例如，一些半导体测试应用具有专用于芯片上每个引脚的单个参数测量单元或源测量单元，因为半导体是大产量行业，测试成本通常占芯片总制造成本的很大一部分。使用专用仪器通道进行并行测量，可以最大程度地减少测试时间，从而显著降低测试成本。此外，在半导体工业中，测试装置通常针对特定的芯片组或芯片组系列而开发，因此在整个生命周期中通常无法进行扩展。

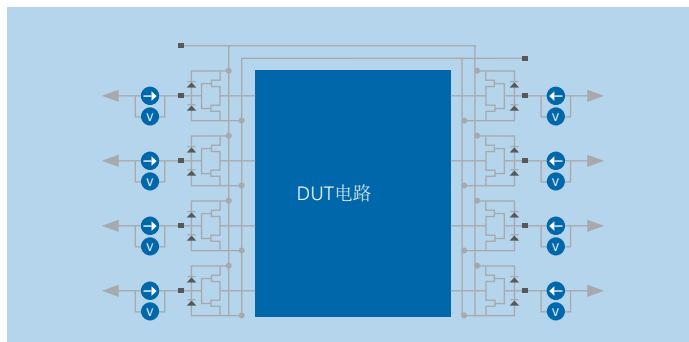


图2. 部分半导体应用使用专用仪器来并行测试给定芯片的所有引脚。

## 仅在测试机架中采用开关

第二种开关架构仅使用商用现成(COTS)开关在测量仪器和测量仪之间路由信号。在测试机架中采用开关提供了一种方式来利用现成开关产品，并提供了最简单的扩展路径。选择一个可提供广泛功能且易于扩展的COTS开关平台非常重要。否则会由于需要重新设计测试系统而导致更高的支出。

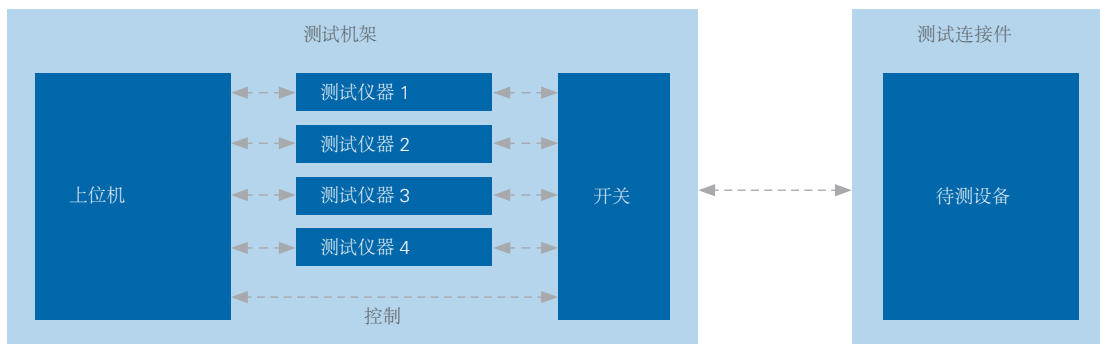


图3.部分测试系统在测试机架内集成了开关，便于扩展。

例如，PXI平台提供超过600种不同类型的开关模块，可以路由高达600 V、40 A和40 GHz的信号。NI还提供100种不同的PXI开关模块，使您可以在200多个不同的开关拓扑中进行配置。

### 在测试机架中采用开关的优点

使用COTS开关解决方案，可以大大节省开发时间，包括印刷电路板(PCB)设计和驱动程序开发。此外，COTS开关提高了测试系统的可扩展性，因为只需向开关供应商购买模块即可添加更多开关，而不需要重新设计整个测试连接件。

此外，每个开关供应商的解决方案都具有其独特的优势。例如，NI开关具有板载EEPROM，可跟踪模块上每个继电器被激活的例程数量，同时还提供其他功能来监测继电器的健康，例如功能和电阻继电器测试。通过这些功能，您可以预测特定继电器何时达到其机械寿命的终点，从而进行预测性维护。这些功能非常适用于维护难以手动调试的高通道数开关系统，或者在意外停机可能导致延迟成本高昂的制造生产车间。

使用NI开关模块时，可以将开关连接列表下载到开关模块上的内存，并通过开关和任意仪器之间的双向触发在列表中循环，而不会中断主机处理器，从而提高测试应用程序的吞吐量。

### 在测试机架中采用开关的缺点

正如前面所说的，使用开关可能会减慢测试进程，因为这需要按顺序测量任何给定DUT的测试点，而不是并行测量。将所有开关放置在测试机架内还会增加布线的总量。除了在开关和测量仪器之间使用电缆，DUT和开关之间也需要电缆。这可能导致敏感型测量发生误差，例如漏电流或低电阻测量。

### 仅在测试连接件中采用开关

第三种开关架构仅在测试连接件中使用开关。在这种情况下，您可使用靠近连接件或位于连接件内部的PCB上的单个继电器将来自测量仪器的信号路由到DUT上的各个测试点。采用此架构需要在测试站中安装一个继电器驱动器，以控制测试程序中的各个继电器。COTS继电器驱动器的一个典型例子是PXI-2567，这是一个64通道继电器驱动器模块，允许您使用NI-SWITCH驱动程序和标准API来控制外部继电器，而无需自定义编程。或者，您可以设计一个外部电路来驱动继电器，但这需要额外的设计工作。

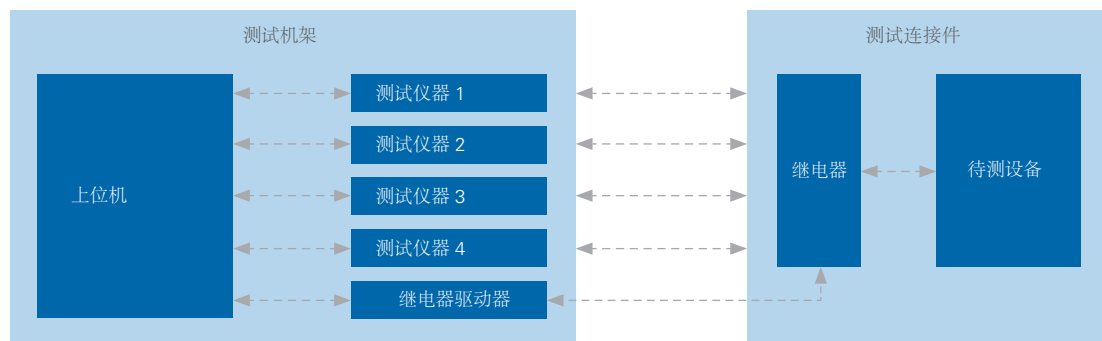


图4. 在测试连接件中采用开关的测试系统需要一个继电器驱动器。

### 在测试连接件中采用开关的优点

如上面所述，开关有助于降低测试成本，无论放置于哪个位置。此外，在测试连接件中接入开关可避免在待测设备和开关之间连接电缆。减少布线也有助于减少测量误差。

### 在测试连接件中采用开关的缺点

如上面所述，使用开关可能会减慢测试进程。此外，在测试连接件中接入定制开关需要具备PCB设计经验，因此并不是任何人都可以选择这一选项。在测试连接件中接入开关也会使测试系统难以扩展，无法满足更多测试点的需求。

此选项的另一个缺点是需要为特定安全和合规标准设计定制电路板而产生更多成本。如果您正在测试高压设备，则可能需要定制一个符合各种规定（如UL、CE和VDE）的开关连接件。所设计的PCB的继电器必须满足这些标准的爬电距离和间隙要求，这是一项具有挑战性的工作。在这种情况下，使用COTS开关有助于降低成本。许多COTS供应商都会根据各种安全标准对其模块进行认证。例如，所有具有大于60 VDC或30 VAC和42.2 V<sub>pk</sub>额定电压的NI开关模块被认为是高压设备，因而是根据以下安全标准进行开发的。



图 5. NI开关模块可满足各种安全和合规标准

### 在测试连接件和测试机架中使用开关

最后一个开关架构包含了测试站中的开关以及测试连接件。使用这一方法，您可以利用两种COTS开关解决方案的优点，同时还可将开关放置在靠近测试连接件的位置，从而最小化特定敏感型测量的误差。使用PXI-2567继电器驱动器以及其他基于PXI的开关，您可以使用受支持的标准驱动程序API对整个开关系统进行编程，包括测试机架中的COTS开关和测试连接件中的定制继电器。

### 在测试连接件和测试机架中使用开关的优点

通过将COTS开关放置在测试支架中，并将继电器安装在测试连接件中，即可构建一个可轻松扩展的开关系统，并使关键或底层测量的误差最小。使用此架构，您可以将用于路由敏感信号的开关放置在测试连接件中，并将所有其余开关放置在测试机架中。除了可扩展性，使用COTS开关还可以帮助您利用特定供应商的功能，例如NI PXI开关模块中的继电器计数跟踪和硬件触发功能。

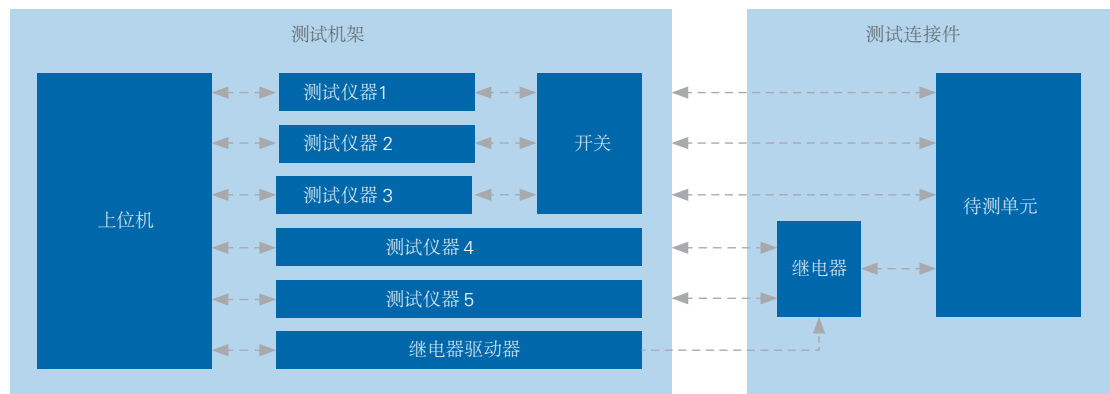


图 6. 在测试机架和测试连接件中采用开关的测试系统提供了更高灵活性，但需要额外的设计工作。

### 测试连接件和测试机架中采用开关的缺点

使用开关可能会减慢测试进程，因为这需要按顺序测量测试点，而不是并行测量。将定制开关接入测试连接件也很耗时，并且需要较丰富的PCB设计知识，尤其是对于高压或高频信号。

## 如何为应用选择最佳开关

除了开关位置之外，您还需要比较各种开关拓扑和继电器类型，以确保开关子系统满足您的信号要求和测试目标。对于自动测试应用，“开关”这个词通常用于描述使用继电器在多个组件和仪器之间开关信号的COTS设备。开关以各种方式连接继电器，形成不同的开关拓扑，例如通用继电器、多路复用器和矩阵。不同的继电器类型各有优缺点，包括尺寸、信号速率和预期寿命。本节介绍了常见的开关拓扑、常用继电器类型、主要开关规格，以及在自动测试系统中使用开关的常用技巧和窍门。

### 常见开关拓扑

在确定您的应用适合采用开关架构之后，下一步是选择最佳的开关拓扑或排列继电器以构建更大的开关网络。大多数开关供应商将开关分为三大类：通用继电器、多路复用器和矩阵。某些开关（例如PXIe-2524）具有多种拓扑结构，使您能够在软件中配置拓扑结构。您可以选择五种不同的拓扑结构来满足不断变化的需求。在考虑拓扑时，需要考虑所需的连接总数、同时连接的最大数量以及将来对测试系统进行更改的扩展需求。

### 通用继电器

通用开关由多个独立的继电器组成，彼此之间独立使用。如果只是想闭合/断开电路内的连接或两个可能的输入或输出之间的开关时，通用继电器是一个很好的选择。继电器按照其刀掷的数量进行分类。继电器的刀是各条路径的共同接线端。每个继电器的刀可以连接的位置就是继电器的掷。

单刀单掷(SPST)继电器类似于只有导通和关断状态的标准灯开关。SPST继电器有两种形式：A型和B型。A型SPST继电器处于常开状态，直至继电器被激活，继电器触点接通，形成完整的电路。或者，B型SPST处于常闭状态，直至继电器被激活，继电器触点断开其连接，从而断开电路。



图7. SPST继电器有两种类型：常开（A型）和常闭（B型）。



单刀双掷(SPDT)继电器具有单刀或称作公共连接端，可在常开触点和常闭触点之间切换。  
 SPDT分为C型或D型继电器。C型SPDT激活时，先断开常闭信号路径，然后将继电器连接到常开触点。这一SPDT继电器操作称为“先开后合”或BBM。D型继电器激活时，先闭合常开信号路径，然后断开常闭信号路径。此SPDT继电器操作称为“先合后开”或MBB。

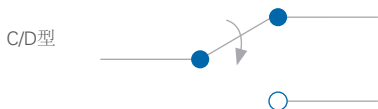


图 8. SPDT继电器在两个掷/连接之间共享一个公共端（刀）。

任务	断开	操作过程	操作完成
C型	<p>N.C. COM N.O.</p>	<p>N.C. COM N.O.</p>	<p>N.C. COM N.O.</p>
D型	<p>N.C. COM N.O.</p>	<p>N.C. COM N.O.</p>	<p>N.C. COM N.O.</p>

图9. SPDT继电器也分为两类：C型和D型。

双刀单掷(DPST)继电器是两个A型 SPST继电器同时启动，通常使用相同的线圈并封装在一起。DPST适用于需要两个信号路径同时断开或闭合的情况。DPST可由两个独立控制的A型 SPST继电器组成，但在两个继电器启动时可能会存在一些时间差。

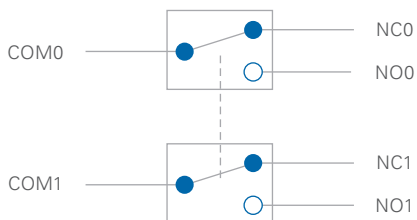


图10. DPST继电器可同步控制两个A型SPST继电器。

### 多路复用器

多路复用器是多个继电器的一种组合方式，可允许一个输入连接到多个输出，或一个输出连接到多个输入。多路复用器提供了将多个DUT连接到单个仪器的有效方式。然而，这种开关架构需要较多的前期知识来了解哪些DUT连接需要访问各种仪器。

多路复用器有时使用多个A型 SPST继电器并将继电器的末端连接在一起。这种构建多路复用器的方法简单且有效，但是其缺点是未使用的信号路径可能会引起AC信号反射，从而降低开关的额定带宽。

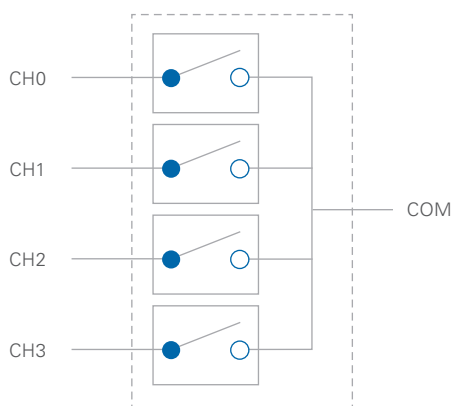


图11. 4 x 1多路复用器由多个A型SPST继电器并联组成

或者，多路复用器有时采用级联的C型SPDT继电器组合来确保AC信号的信号完整性。这种类型的多路复用器通常需要更多的PCB空间，但它减少了可能降低开关带宽的任何桩线或额外的非端接信号路径。

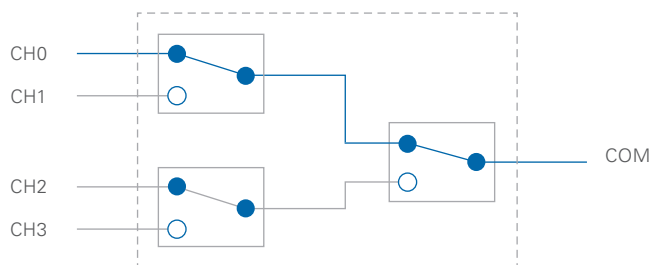


图2. 4 x 1多路复用器由多个C型SPDT继电器级联组成

## 矩阵

矩阵是最灵活的开关配置。与多路复用器不同，矩阵可以同时连接多个信号路径。矩阵在行和列的每个交叉点配有一个继电器，从而能够连接列-列、列-行和行-行信号路径。借助矩阵的灵活性，您可以通过各种信号路径将所有开关通道彼此连接，而不需要预先定义。通常建议在硬件规划阶段规划开关路由，但是矩阵可以灵活地根据测试需求变化来更改开关路由。

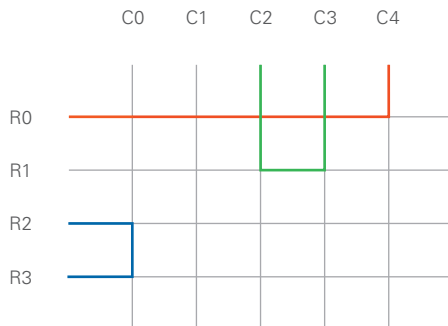


图13. 矩阵可允许最高程度的信号路由灵活性

矩阵大小通常描述为M行×N列 ( $m \times N$ ) 配置。常见的配置包括4 x 64、8 x 32和16 x 16。但是，在大多数情况下，对行或列没有特别的要求。如果您更习惯用行而不是列来思考，例如64×4矩阵而不是4×64矩阵，则开关矩阵可以随时转置。

## 其他拓扑

通用继电器、矩阵和多路复用器开关构成绝大多数开关，但是也有其它专用开关拓扑存在，例如稀疏矩阵或故障插入单元 (FIU)。

稀疏矩阵是混合组合，介于矩阵和复用器之间，通常用于RF应用。通过连接两个复用器的公共端，您可以创建具有许多行和列的伪矩阵，但在任何给定时间只能连接一个可能的信号路径。多路复用器通常比矩阵提供更多的信道密度，因为矩阵的每个行-列交叉需要至少一个继电器。因此，稀疏矩阵通常可在给定空间中提供更多的通道密度，但却受到行列之间单个信号路径的限制。稀疏矩阵也可用于AC应用，但是信号带宽可能会因为传统矩阵中未端接的行和列所形成的桩线而降低。

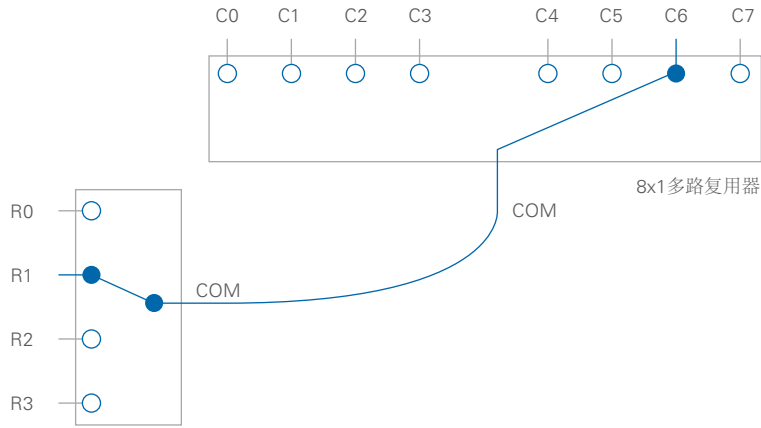


图14. 稀疏矩阵通过连接两个或更多个复用器的公共端来创建，并且通常用于切换RF信号。

另一种专用开关架构是FIU，通常用于硬件在环(HIL)测试系统中。硬件故障插入，也称为故障植入，是测试系统的一个关键考虑因素，用于测试嵌入式控制单元的可靠性，需要同时植入已知响应和可接受响应的故障条件。为了实现这一点，FIU插入在测试系统的I/O接口和ECU之间，使得测试系统可以在正常操作和故障条件（比如电源短路、对地短路、引脚到引脚短路或开路）之间切换。有关FIU的更多信息，请阅读《[使用故障插入单元\(FIU\)进行电子测试](#)》白皮书。

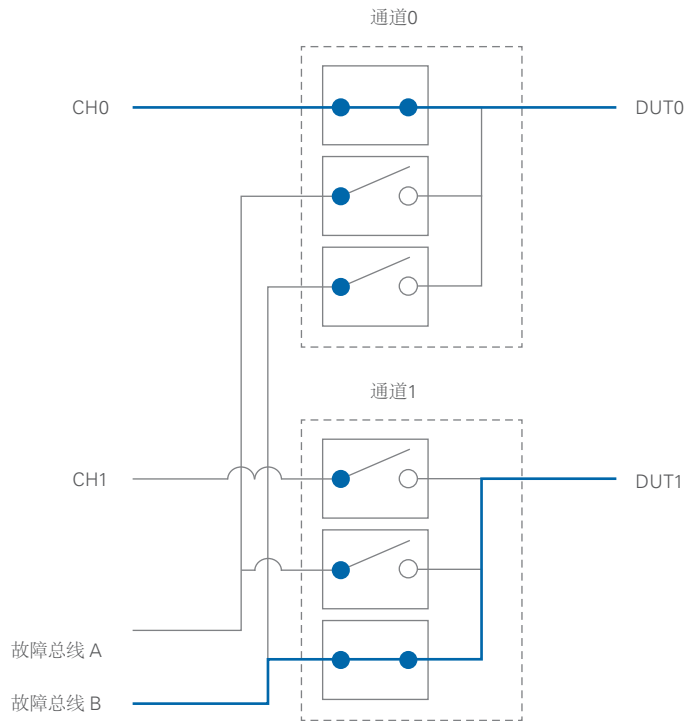


图15. FIU可允许自动化故障条件测试，通常用于测试嵌入式系统的可靠性，比如汽车ECU。

## 继电器类型

继电器是在电路中建立或切断连接的远程控制设备。市面上有很多类型的继电器，但常见的继电器类型有四种：机电继电器、干簧继电器、固态继电器和场效应晶体管(FET)继电器。每种继电器都有可能影响开关系统的性能、成本、预期寿命和密度，这就是为什么选择最佳继电器类型来满足应用需求非常重要的原因。

请注意，单个继电器和成品开关产品的规格在大多数情况下是不同的。继电器规格，例如带宽、额定功率和接触电阻，仅指单个继电器，不包括将继电器连接到开关拓扑结构的PCB路径或为开关拓扑结构提供用户接口的连接器。例如，单个继电器可以是 $0.05\Omega$ 的接触电阻和 $300V$ 的额定电压，但是成品开关产品可以具有更大的路径电阻（例如 $1\Omega$ ），包含多个继电器和PCB走线，并且单个继电器不需要具备 $300V$ 下安全操作开关产品所需的PCB漏电性能和间隙。

## 机电继电器

机电继电器（EMR）或电枢继电器通过流过电感线圈的电流来感应将电枢移动到断开或闭合位置的磁场，通过两个触点的接触来完成电路。EMR有不同的类型，例如锁存和非锁存，但其在操作上的差异很小。非锁存EMR使用单个线圈，并在电流停止流动后返回到其默认位置。而锁存EMR即使在电流停止流动时也保持在所处的位置。一些锁存EMR使用一个线圈来使电流反向流动，以反转磁场的方向，从而将电枢推或拉到所需的位置。其他锁存EMR使用电枢任一侧的线圈推动电枢断开或闭合。

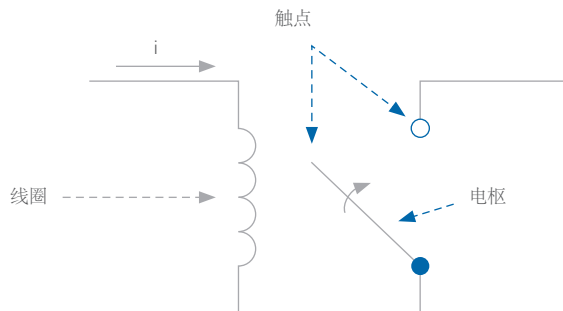


图16. 单线圈机电继电器使用磁场来断开和闭合机械开关。

EMR支持从低电压/电流到高电压/电流以及DC到GHz频率等各种信号特性。此外，EMR具有低接触电阻，通常远小于 $1\Omega$ ，并且可以处理高达 $300W$ 的意外浪涌电流和高功率。因此通常可以找到符合测试系统所需信号特性的EMR。但是，EMR会占用非常多的PCB空间，与其他选项相比速度较慢（ $150$ 次关断/秒），并且由于部件的移动性而具有较短的生命周期（最多 $10$ 的六次方次关断）。

基于这些优缺点，如果需要高功率、高电流或高带宽耐用型继电器且不太关心继电器速度，而且愿意经常更换继电器（因为继电器的性能会随时间的推移而降低），EMR是不错的选择。

### 干簧继电器

干簧继电器通过流过电感器的电流来产生用于连接物理触点的磁场。然而，干簧继电器具有比EMR小得多且更轻的触点。干簧继电器的线圈缠绕在两个重叠的铁磁性叶片（称为簧片）上，簧片密封在填充有惰性气体的玻璃或陶瓷胶囊内。当线圈通电时，两个簧片被拉在一起，触点相接触，在继电器内形成信号路径。当电流停止流过线圈时，簧片的弹簧将触点分离。

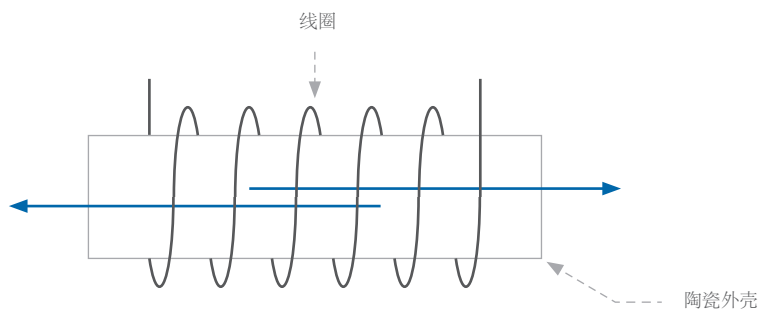


图17. 电流停止流过线圈时，簧片的弹簧力会使触点分开。

由于干簧继电器的体积更小，因而可以在更小的空间内安装更多继电器，并且它们的开关速度可高于EMR，最高可达2000次关断/秒。此外，其有限的移动机械部件和隔离的环境提供了更长的机械寿命，高达10的九次方次关断。

然而，由于干簧继电器的接触尺寸较小，干簧继电器无法处理高功率信号，并且更容易受到自热或电弧的损坏，导致簧片出现小面积烧坏。当熔化部分固化时两个簧片仍然连接，那么触点就会焊接在一起。在这种情况下，如果弹簧力足以拉开两个簧片，则继电器保持关闭，或者断开其中一个簧片。为了防止损坏，需要监测可能由于热切换容性负载而引起的大浪涌电流信号，并使用内联保护电阻来降低电流尖峰的电平和持续时间。有关保护干簧继电器的更多信息，请阅读《[干簧继电器保护](#)》白皮书。干簧继电器的小尺寸和高速度使其成为许多应用的理想选择。干簧继电器更常见于矩阵和多路复用器模块而不是通用开关模块。一款典型的产品是 [PXI-2530B](#)，它是一个COTS开关，可以通过切换各种前端接线端子来配置为13个独特的矩阵或多路复用器拓扑。

### 固态继电器

固态继电器(SSR)属于电子继电器，其组件包括用于响应输入的传感器、将电力开关到负载电路的固态电子开关装置以及用于在没有机械部件的情况下激活控制信号的耦合机构。它们通常使用具有LED的光敏金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）器件来进行驱动。

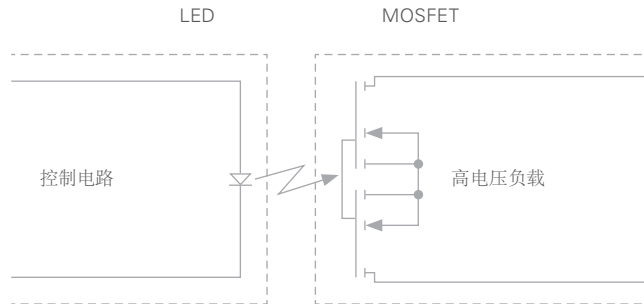


图18. SSR使用具有LED的感光MOSFET来驱动设备。

SSR的速度略快于EMR，高达300次关断/秒，因为它们的开关时间取决于为LED开启和关闭所需的时间。由于没有机械部件，SSR不易受到可能损坏继电器的物理振动的影响，因而具有无限长的机械寿命。

然而，SSR也有其缺点。首先，它们不如EMR那么稳定，并且如果信号电平超出其额定值，则容易损坏。第二，SSR较为昂贵，并且产生的热量比其他类型的继电器高。最后，由于SSR是通过晶体管而不是物理金属连接进行连接，因而路径电阻可从小于1Ω到100Ω甚至更大。最新的SSR对路径电阻进行了优化，以减小其影响。

当使用中小信号电平，且需要一个可以持续多个周期的继电器时，具有无限机械寿命的SSR就是一个很好的选择。COTS SSR开关的一个示例就是PXI-2533，它是一个4×64矩阵，具有55W额定开关功率，并且提供无限的机械寿命。

## FET继电器

与SSR类似，FET继电器不是机械装置，而是使用晶体管来路由信号。与SSR不同的是，控制电路直接驱动晶体管的栅极而不是驱动LED。

直接驱动晶体管栅极可实现比上面所提到的任何其它类型的继电器更快的开关速度，高达60,000次关断/秒。此外，无机械部件使得FET继电器的体积比机电或干簧继电器小得多，并且不易受到冲击和振动问题的影响，这使得FET继电器具有无限的操作寿命。然而，FET继电器具有比任何其他继电器类型高得多的路径电阻，通常在8Ω至15Ω范围内，并且缺少物理隔离，因此仅适用于低电平信号。

FET继电器是低电平信号和需要快速继电器操作或无限机械寿命的应用的理想选择。COTS FET开关的一个示例是PXI-2535，它是一个4 x 136矩阵，可在少于16μs内执行继电器操作。

低 ○ 平均 ◐ 高 ●

功能	电枢	簧片	FET	SSR
高功率	●	◐	○	◐
高速	○	◐	●	◐
小尺寸封装	◐	●	●	●
低路径电阻	●	◐	○	◐
低电压偏置	◐	○	◐	●
更长的生命周期	○	◐	●	●

图2. 不同继电器选项比较

## 开关扩展

如果自行创建开关拓扑，则可以创建一个满足应用精确尺寸需求的矩阵或多路复用器。但是，许多人选择使用COTS开关来减少开发工作，并且大多数COTS开关具有固定尺寸。因此，知道如何组合多个矩阵或多路复用器以创建更大的矩阵或多路复用器是非常重要的。

### 多路复用器扩展

扩展多路复用器通道数的最简单方法是直接将多个多路复用器的公共端连接在一起。这种方法存在输入通道同时短路并可能损坏硬件的风险。因此，在任何给定时间需要确保只有一个通道连接到公共端。某些开关软件，如Switch Executive，可让用户设置软件排除条件，防止在任何给定时间多个输入路径连接到公共端。这种方法的另一个缺点是未使用和未端接的路由会导致桩线，从而增加电容并降低高频性能。



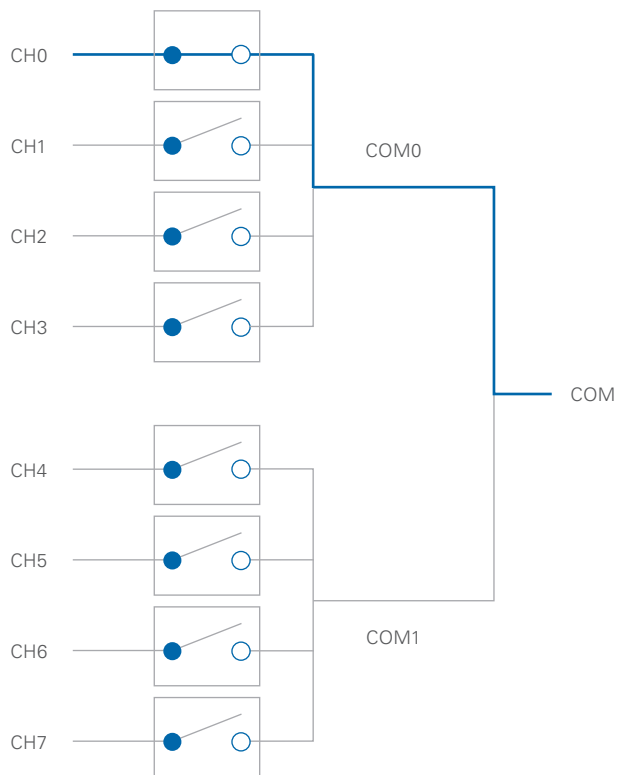


图19. 8 x 1多路复用器将两个4 x 1多路复用器的公共端连接在一起。

另一种方法是增加一个多路复用器来连接多个多路复用器的公共端，多路复用器的内部结构仅允许一个通道路径到公共端，因而需要更多的多路复用器。但是，这种方法仍然会存在PCB桩线，从而降低带宽性能。

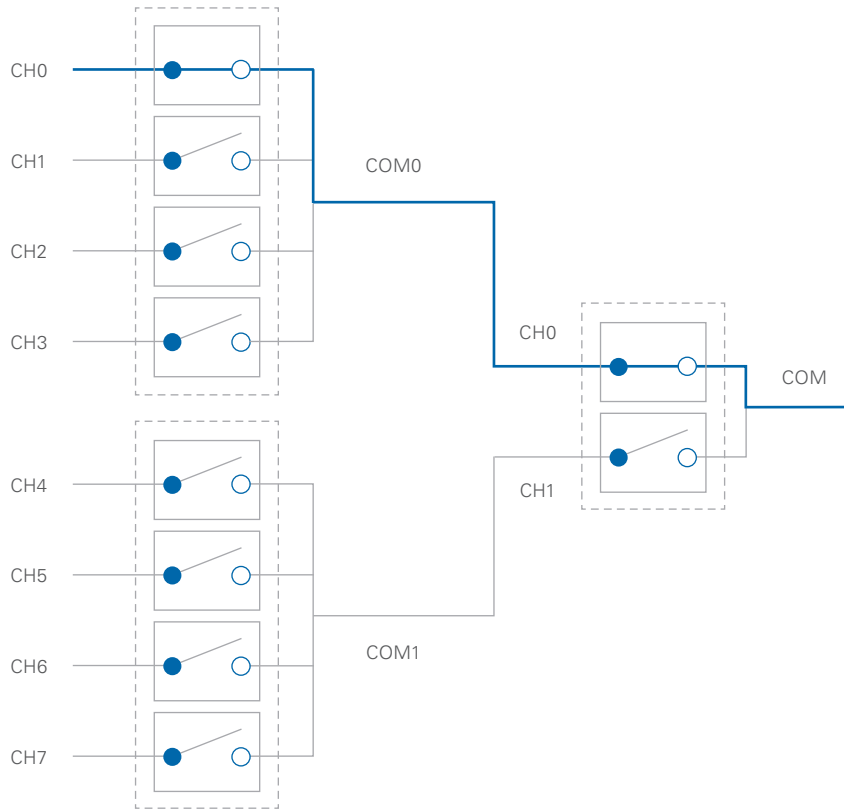


图20. 8 x 1多路复用器由两个4 x 1多路复用器通过一个额外的多路复用器来切换公共端组成。

对于高频应用，应使用C型SPDT继电器来创建大型多路复用器。此选项可确保有效信号路径上不存在任何桩线，从而有助于提高开关的带宽。

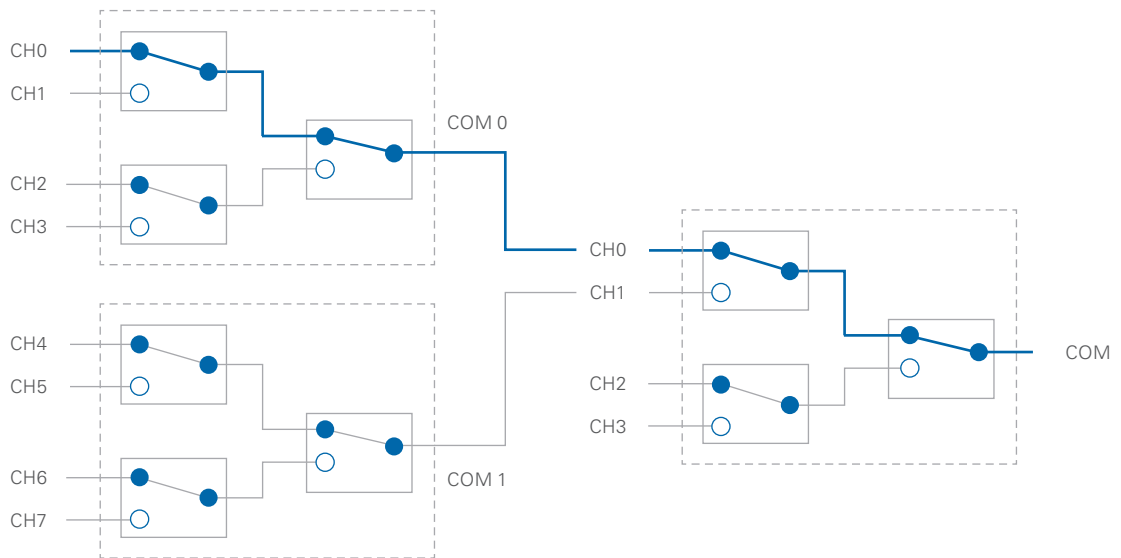


图21. 8 x 1多路复用器由三个采用C型SPDT继电器的4 x 1多路复用器级联而成。

### 矩阵扩展

开关矩阵还可以用于创建远大于单个COTS矩阵开关尺寸的大型矩阵。扩展矩阵的方法有两种。列扩展是指连接两个或多个矩阵模块之间的每一行，使扩展矩阵的列数加倍。行扩展是指连接两个或更多个矩阵模块的每一列，使扩展矩阵的行数加倍。

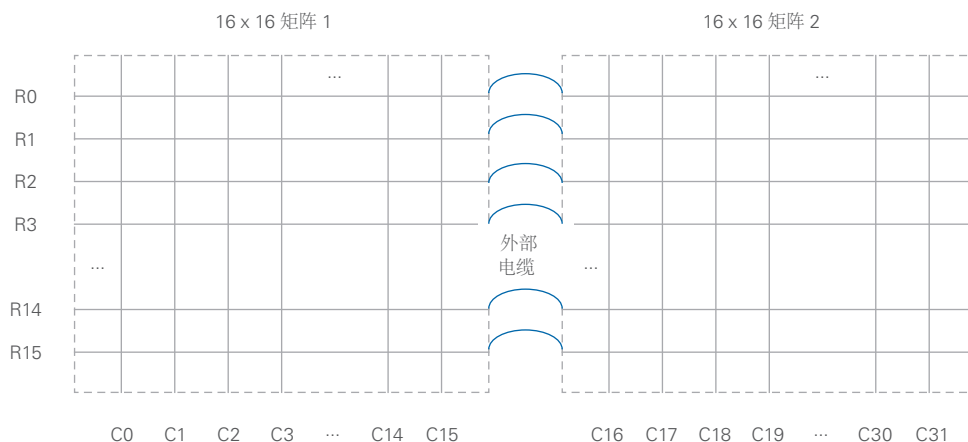


图22. 通过列扩展创建的16 x 32矩阵

为了简化矩阵扩展，一些COTS矩阵开关（如PXIe-2532B）提供专用电缆，可轻松连接多个开关模块的行来组合矩阵。不过所有矩阵都是可扩展的，即使没有预先提供附件也是如此。如果要手动扩展矩阵，可使用外部导线连接单个矩阵的行或列。有关矩阵扩展的更多信息，包括示例和常见问题，请阅读《[PXI开关模块的矩阵扩展指南](#)》。

### 主要开关规格

除了继电器类型和开关拓扑，还需要确保开关子系统所连接的信号的完整性。大多数开关根据信号类型分为两类：低频/DC和RF。

#### 低频/直流开关规格

开关通常会标出额定电压和电流，但还应注意最大开关功率规格，也就是触点可以切换的功率上限。例如，150 V 2 A开关的最大开关功率为60 W，而且不应在2 A (300 W)时使用150 V电源。因此，除了最大电压和电流电平之外，考虑信号的最大功率也很重要。

在处理开关时，信号频率也是一个棘手的话题。信号经常通过其基频进行描述，这适用于简单的正弦波。但对于方波或具有尖锐边缘的信号，则需要记住，方波具有远高于基频的谐波频率，可能会形成尖锐边缘。如果打算切换一个方波，请选择一个额定切换频率为信号基波频率7到10倍的开关。例如，如果使用10 MHz的开关路由10 MHz方波，输出将看起来更接近正弦波而不是方波。

有关开关带宽的更多信息，请阅读《[开关带宽选择](#)》白皮书。

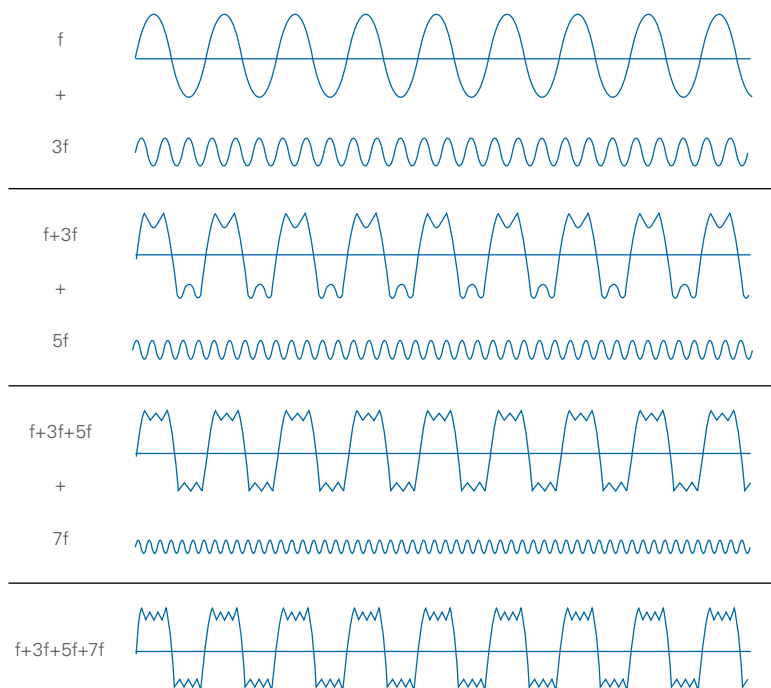


图23. 方波信号具有远高于基频的谐波频率。

开关路径电阻、热EMF和偏置电压会影响低电平信号测量，例如DMM电阻测量。因此，应该选择一个对测量影响最小的开关，并设计一种测量技术来补偿这些误差源。有关在切换低电平信号时如何减少误差的详细信息，请参阅以下白皮书之一：

第一部分：[切换低电压信号时如何减少误差](#)

第二部分：[切换低电流信号时如何减少误差](#)

第三部分：[切换低电阻信号时如何减少误差](#)

### 射频开关规格

额定频率大于10 MHz或20 MHz的开关通常称为RF开关。RF开关通常具有较低的信道密度，以保持信号完整性，因此RF开关适用于需要较高带宽的信号路径。但是，拓扑结构和带宽限制不足以提供足够的信息来选择RF开关。

所有RF开关都具有额定特性阻抗，这是用于确定传播信号在信号路径中以何种程度传输或反射的传输线参数。组件制造商在设计设备时专门将特性阻抗设计为50 Ω或75 Ω，因为RF系统中的所有组件必须阻抗匹配才能最小化信号损耗和反射。RF市场大部分是50 Ω RF系统，应用于大多数通信系统。75 Ω RF系统较为少见，主要用在视频RF系统中。务必要确保电缆和连接器等组件以及可能安装在测试系统中的其他仪器都是阻抗匹配的。

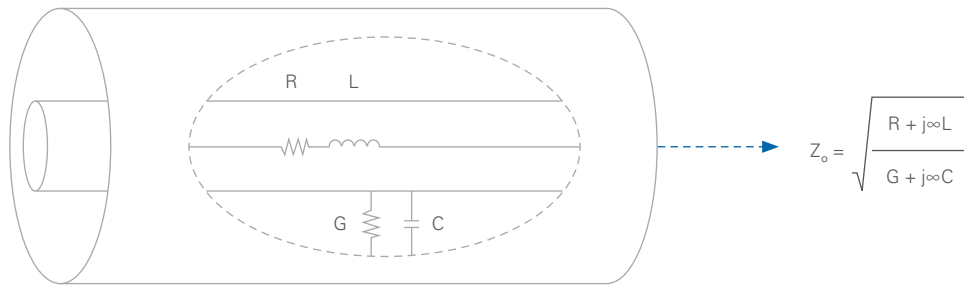


图24. 传输线的特性阻抗

除带宽和特性阻抗外，还有其他RF开关规格会直接影响信号完整性，如插入损耗、电压驻波比（VSWR）、隔离、串扰和RF功率。插入损耗衡量的是信号通过开关后的功率损耗和信号衰减。VSWR是反射 - 透射波之比，具体来说是“驻波”模式中最大值（当反射波同相时）与最小值（当反射波不同相时）的比率。隔离是耦合在开路电路上的信号幅度，串扰是耦合在电路（比如独立的多路复用器组）之间的信号幅度。

RF开关一个有趣的现象是所有这些规格会根据信号频率而变化。因此，在选择RF继电器或开关时，应在特定信号频率下比较这些规格。否则，很容易误解RF开关的性能。

如需了解更多的关于RF开关选型，请阅读《[理解主要RF开关规格](#)》白皮书。

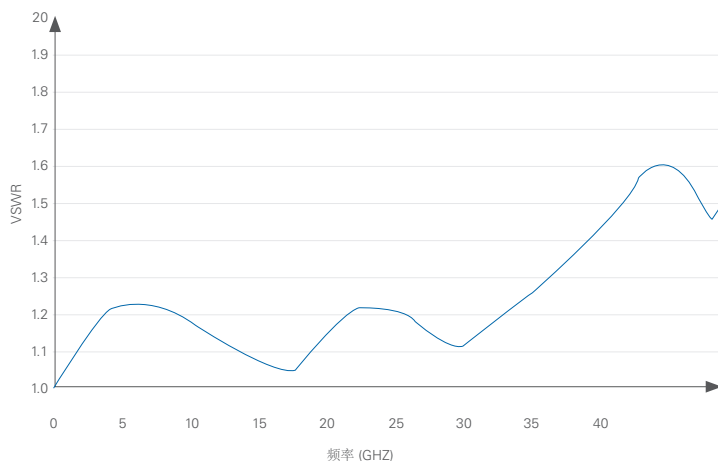


图25. 许多RF开关规格会随信号频率而变化。

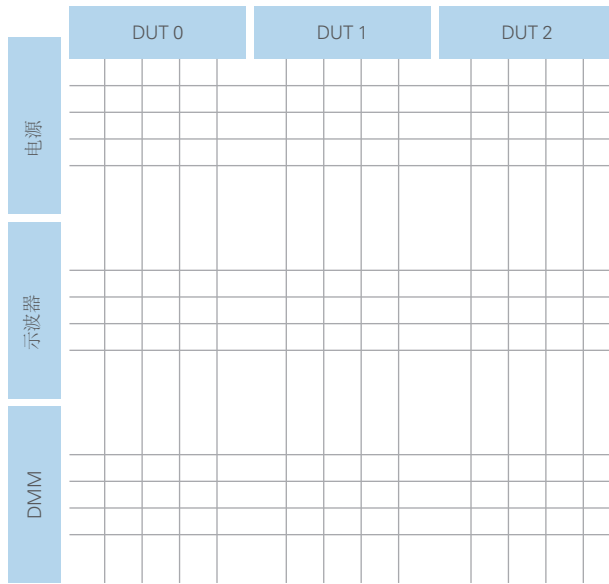
## 开关使用技巧和窍门

在规划自动化测试系统的开关部分时，一些常规技巧可以帮助您构建一个保持信号完整性的高效开关系统。

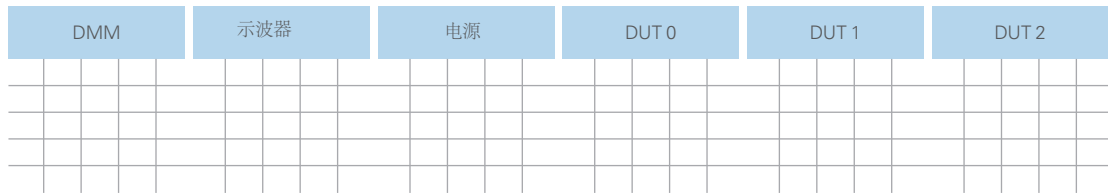
### 总测试点与同时连接

使用矩阵时，请考虑可能的最大连接数量和同时连接的最大数量。如果您仅关注可能连接的总数，则通常会导致所有行专用于每个仪器的每个I/O引脚。但是，这种方法可能导致不必要的大型矩阵。例如，如果您有22个仪器引脚和106个DUT测试点，那么您可能会创建一个22 x 106矩阵（2,332个继电器），其中22个I/O引脚连接到行，106个DUT测试点连接到列。

但是，如果在同一时间仅需要连接最多四个仪器引脚，则22 x 106矩阵就会过大且造成不必要的浪费。相反，我们可以考虑将仪器放置在22个额外的列上，并使用行在列之间进行路由。这样就可以将矩阵尺寸减少到4 x 128（512个继电器），大约为原尺寸的20%。这不仅可以节省空间和金钱，而不会影响测试时间或质量。



2,332个交叉点



512个交叉点

图26. 将仪器放在列上，然后使用行来路由信号，可在顺序测试执行过程中反转矩阵空间，但是将仪器放在行上可实现更快速的并行测试需求。

### N线开关

许多矩阵或多路复用器开关模块可以在给定拓扑内而不是标准的1线开关模式中切换两个或四个信号路径。在执行测量时，可以使用1线开关将各种信号路由到可能以单个信号或地为参考的仪器。

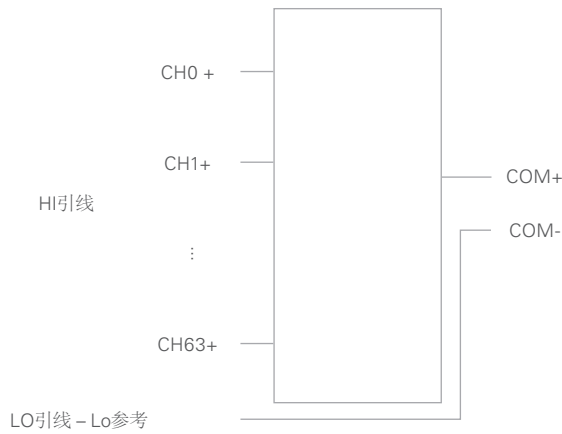


图27. 单端多路复用器非常适用于以共享信号或地为参考的测量。

有时多个信号需要同时切换。2线或差分开关提供两个信号路径，可使用一个命令进行控制。这提供了一种简单的方法来切换差分信号，同时具有出色的共模噪声抑制性能。4线开关通常用于4线电阻测量，其中两条引线用于激励，另外两条引线用于测量DUT上的电压降。

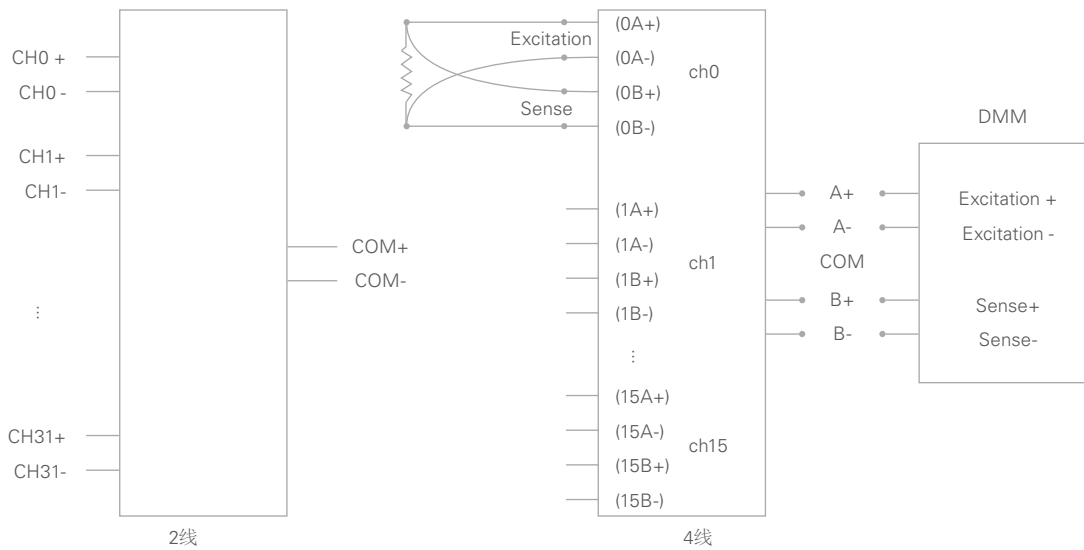


图28. 使用2线或4线开关同时切换多条信号路径。



### 开关功率

很多时候，测试需求计划包括最大电压和电流电平，但瞬时功率通常被忽略。开关或继电器的额定电压和电流可能为100 V和2 A，但这并不一定意味着它可以处理200 W的信号。许多开关具有完全独立于其电压和电流额定值的最大额定功率。例如，常见的干簧继电器的额定电压和电流可能为100 V和500 mA，但它的最大额定功率是10 W。因此，在选择开关时，应考虑最大瞬时功率。

### 将高电平信号从一般或低电平信号中分离

高功率或高频信号的开关通常比通用信号的开关具有更低的密度。因此，应将大功率或高频信号从开关系统中隔离出来，以维持主开关系统的通道密度。如果要创建一个适合所有信号的开关来处理高电平或高频率信号，则该开关可能非常大型且昂贵。

### 基于信号频率比较RF规格

比较RF开关时，应根据信号频率评估规格。许多RF规格，例如隔离、VSWR、插入损耗和RF载波功率会根据信号频率而变化。为了进行准确的比较，需要查看详细的开关规格，找到所需频率的规格。此外，一些开关供应商针对每个类别的开关分别发布了保证和典型的规格，而其他开关供应商仅发布典型的规格，这些规格看起来比保证规格要好得多。

### 考虑最大开关速度的硬件触发开关

在许多自动测试场景中，时间就是金钱。许多开关使用软件命令进行单独控制，总线延迟和软件开销计算到每个开关操作上。某些开关提供硬件定时和触发，这使您能够将开关连接列表加载到开关内存上，并使用硬件触发器依次触发列表的连接。每次开关操作完成后，开关会向仪器发送触发，启动下一次测量。

这种操作称为开关握手，可以消除与传统软件触发开关相关的软件开销和总线延迟。开关握手对于高速继电器类型（例如FET或SSR）尤其重要，因为软件开销和总线延迟构成了大部分的开关操作。开关握手与簧片继电器相结合可能会使总开关时间减少10倍，而FET开关则可能缩短100倍甚至更多。继电器速度越快，开关握手可以提高的吞吐量就越多。

## 下一步

### NI开关产品

无论是在十几个测试点上执行高精度低速测量，还是对集成电路进行高通道高频特性分析，NI都提供基于PXI的灵活模块化开关解决方案，帮助您最大限度地重复利用设备、提高测试吞吐量和系统可扩展性。

了解更多关于[NI PXI开关产品](#)

### Switch Executive

Switch Executive是一款智能开关管理与路由应用程序，能够加速开发并且简化对复杂开关系统的维护。只需轻点鼠标的图形化配置、自动路由功能以及直观的通道别名，即可帮助轻松设计和描述开关系统。

了解更多关于[Switch Executive](#)

### NI Switch Health Center

为了简化高通道数系统的继电器维护和提高其可靠性，NI Switch Health Center会将信号沿开关的每个路由发送出去，以验证每个继电器的状态。它会提醒用户继电器是否发生故障、卡住断开还是卡住闭合，并报告电阻的变化来确定继电器是否即将“寿终正寝”。

了解更多关于[NI Switch Health Center](#)