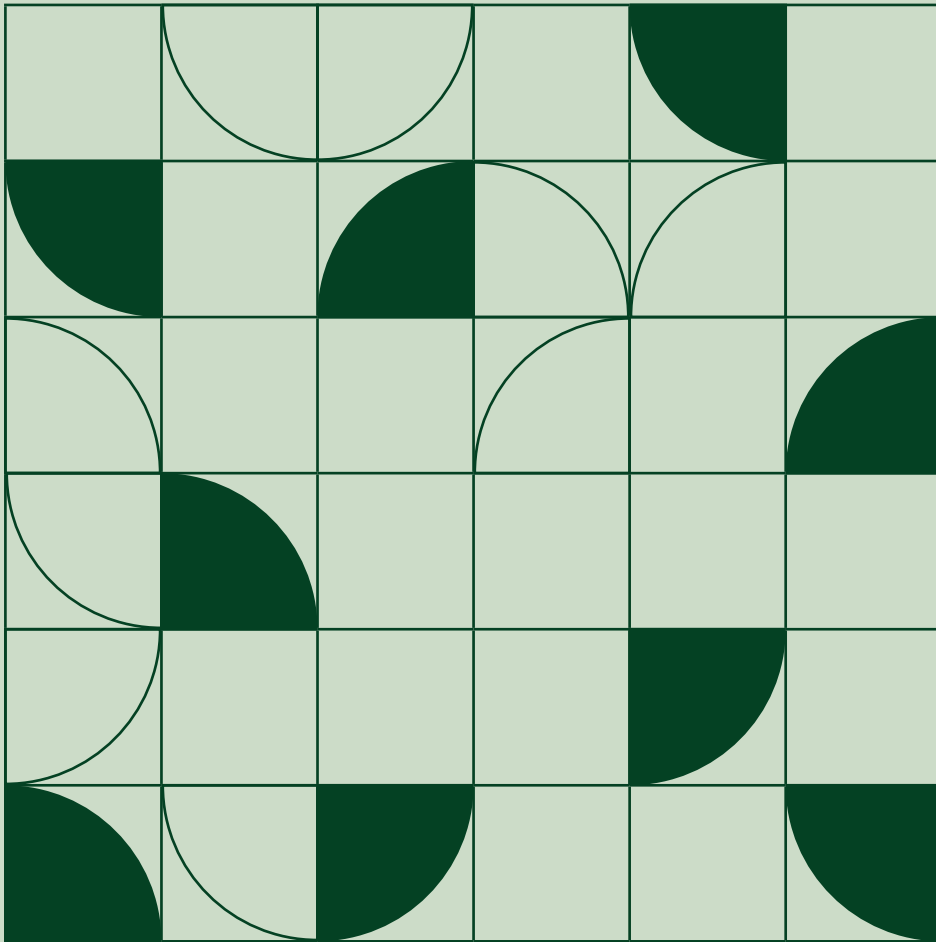


开关和多路复用



02 简介

03 开关架构

无开关

仅测试机架采用开关

仅测试连接件采用开关

测试机架和测试连接件均采用开关

08 如何针对具体应用挑选最合适的开关

常见开关拓扑

通用继电器

继电器类型

开关扩展

主要开关规格

开关使用技巧和窍门

24 附加信息

NI开关产品

Switch Executive

NI Switch Health Center

简介

许多自动化测试应用需要将信号路由至各种仪器和待测设备(DUT)。克服这些应用挑战的理想方法通常是部署一个开关网络来实现仪器和DUT之间的信号路由。开关不仅可用于路由信号,也是增加昂贵仪器仪表的通道数以及提高测量灵活性和可重复性的一种低成本方法。

将开关添加至自动化测试系统时,通常有三个选择:自行设计和搭建开关网络,使用由GPIB或以太网控制的独立式(“台式”)开关盒,或者使用包含数字万用表(DMM)等一种或多种仪器的模块化平台。开关几乎总是与其他仪器搭配使用,因而必须与这些仪器紧密集成。现成的模块化方法可解决大多数常见测试系统固有的集成难题。本指南概述了将开关和多路复用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实惠的选择,但并不一定是最好的选择。

开关架构主要有以下四种类型:

- 无开关
- 仅测试机架采用开关
- 仅测试连接件采用开关
- 测试机架和测试连接件均采用开关

下表概述了所有四种开关架构的优缺点。

	灵活性	吞吐量	成本	低电平测量误差(MV、 μ A、M Ω)
无开关	○	●	○	●
仅测试机架采用开关	●	◐	●	○
仅测试连接件采用开关	○	◐	◐	◐
测试机架和测试连接件均采用开关	●	◐	◐	◐

低于平均值 ○ 平均值 ◐ 高于平均值 ●

表 1 各种开关架构的优缺点

无开关

在第一种架构中,待测设备(DUT)与测试系统中的仪器之间未使用开关进行信号路由。此类系统通常为每个测试点都提供一个专用的仪器通道。

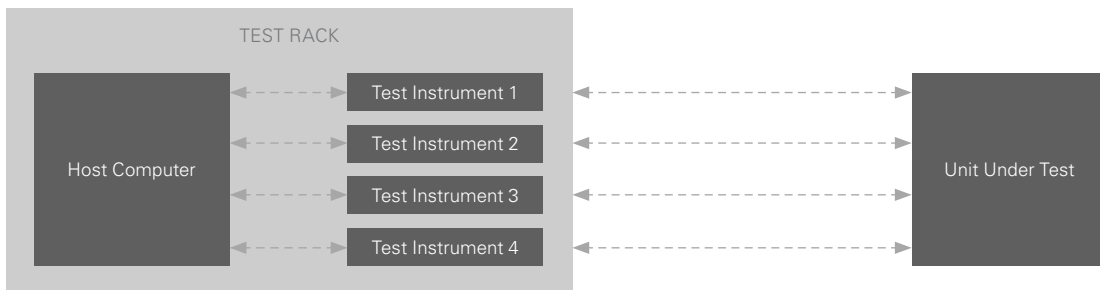


图 1 无开关的测试系统直接将每个仪器连接到待测设备

仅测试机架采用开关

第二种开关架构仅使用商用现成(COTS)开关在测量仪器与DUT之间路由信号。在测试机架中采用开关不仅可以利用现成开关产品,还提供了最简单的扩展途径。挑选COTS开关平台时,务必确保平台能够提供丰富的功能和易于扩展的选项。否则测试系统在使用期间可能需要重新设计,并因此产生大量支出。

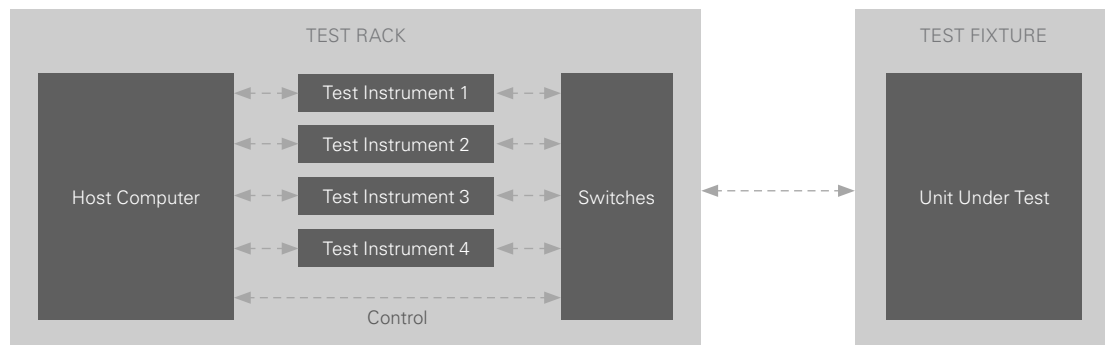


图 2 | 部分测试系统在测试机架内集成了开关以便扩展

例如, PXI平台提供600多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。单单NI就提供了100种不同的PXI开关模块,可以配置为200多种不同的开关拓扑。

在测试机架中采用开关的优点

使用COTS开关解决方案可以节省大量开发时间,包括印刷电路板(PCB)的设计和驱动程序的开发。COTS开关还提高了测试系统的可扩展性,因为用户只需从开关供应商处购买额外的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,每家开关供应商提供的解决方案都有自身独特的优势。例如,NI开关配有板载EEPROM,可跟踪模块上每个继电器被激活的实例数量,同时还提供其他功能来监视继电器的运行状况,例如功能性和阻性继电器测试。借助这些功能,用户可以预测特定继电器机械寿命终结的时间点,以便进行预测性维护。例如,在维护高通道数开关系统时可能很难进行手动调试,或者在制造生产车间发生意外停机时可能会导致严重且代价高昂的延迟,上述功能在这些情况下会十分实用。

此外,还可以使用NI开关模块来提高测试应用的吞吐量,具体方法是将开关连接列表下载到开关模块的存储器中,然后在开关与任何仪器之间使用双向触发循环该列表,整个过程不会被主机处理器中断。

在测试机架中采用开关的缺点

使用开关通常会减慢测试过程，因为需要按顺序对任何给定DUT上的各个测试点进行测量，而不是像前述的无开关架构一样并行测量。将所有开关置于测试机架内还会增加布线总量。除了开关与测量仪器之间需要布线之外，DUT与开关之间也需要布线。这可能会导致敏感型测量出现误差，例如泄漏电流或低电阻测量。

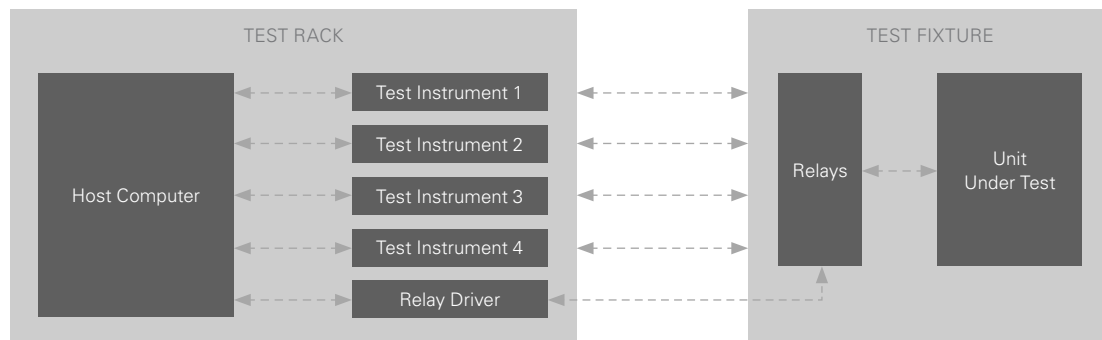


图 3 在测试连接件中采用开关的测试系统需配备继电器驱动器

仅测试连接件采用开关

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，系统使用位于连接件附近的PCB上或连接件之中的各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。如果使用这种架构，则需要在测试机架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继电器驱动器的典型示例为PXI-2567，它是一个64通道的继电器驱动器模块，允许使用NI-SWITCH驱动器通过标准API来控制外部继电器，而无需自定义编程。此外，也可以设计一个外部电路来驱动继电器，但需要开展额外的设计工作。

在测试连接件中采用开关的优点

如前文所述，在任何位置采用开关都有助于降低测试成本。此外，在测试连接件中采用开关可免除DUT与开关之间的布线。减少布线也有助于降低测量误差。

在测试连接件中采用开关的缺点

如前文所述，使用开关通常会减慢测试过程。此外，在测试连接件中接入自定义开关需要具备PCB设计经验，因此可能并非适用于所有人。在测试连接件中采用开关还会导致测试系统难以扩展，无法满足更多测试点的需求。

无开关架构的优点

线缆和开关通常会降低信号的完整性。如果不使用开关，则可以在信号与测量仪器之间建立更直接的路径，从而提高测量精度。此外，无开关架构还可以提高测试速度。在无开关架构中，每个测试点都有专用的仪器，因此可以并行测量而不必按顺序测量，从而提高测试吞吐量。

无开关架构的缺点

事实证明，为每个测试点配备专用仪器的成本非常高。另一个缺点是可扩展性差。如果构建的测试系统不采用开关，则测试机架中很容易出现空间不足的情况。在这种情况下，测试系统可能需要完全重新设计，随之而来的硬件更改、软件更新和重新验证也都会产生额外的成本。例如，假设有一个测试系统使用20个PXIe-4081数字万用表(DMM)并行测试20个电阻式温度传感器(RTD)。现在，需要扩展该系统以测

试40个RTD传感器。为此，需要再添加20个DMM，同时需要再添加20个PXI插槽。但是，如果采用开关，则使用一个PXIe-4081 7½位数字DMM万用表和两个PXI插槽即可按顺序测试所有40个RTD传感器。

什么情况下适合构建无开关的测试系统

如果需要进行极其敏感的测量(添加线缆和开关会导致失真)或者需要尽可能缩短测试时间，通常建议构建无开关的测试系统。例如，一些半导体测试应用会为芯片上的每个引脚专门配备一个单独的参数测量单元或源测量单元，而由于半导体属于大产量行业，累积起来的测试成本会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，可以最大限度地缩短测试时间，从而显著降低测试成本。此外，在半导体行业中，测试仪通常是针对特定的芯片组或芯片组系列量身定制的，因此在其生命周期内通常不会进行扩展。

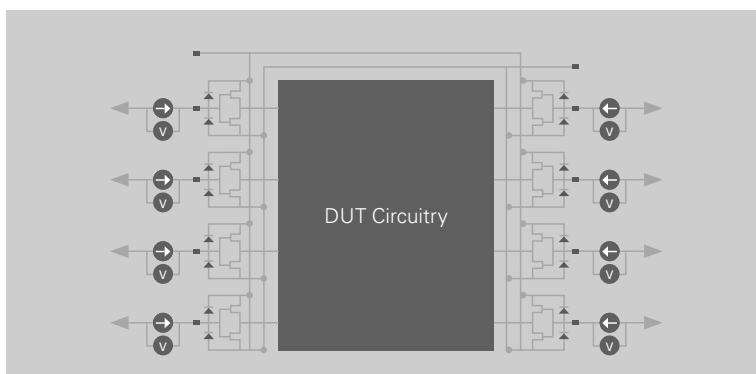


图 4 部分半导体应用使用专用仪器并行测试给定芯片上的所有引脚

这种架构的另一个缺点是需要针对特定的安全与合规性标准设计定制电路板，因此会产生额外的成本。如果测试高压设备，可能需要打造一个符合UL、CE和VDE等各种法规的开关连接件。所用的PCB上的众多继电器必须符合上述各种标准的爬电距离和电气间隙要求，这种设计极具挑战性。在这种情况下，使用COTS开关有助于降低成本。许多COTS供应商均已根据各种安全标准对其模块进行认证。例如，所有额定电压大于60 VDC/30 VAC和42.2 Vpk的NI开关模块都被视为高压设备，因此是根据以下安全标准构建的。

测试机架和测试连接件均采用开关

最后一种开关架构在测试机架和测试连接件中均采用开关。这种架构兼具两种COTS开关解决方案的优点，同时还将开关放置在靠近DUT和测试连接件的位置，最大限度地降低了特定敏感型测量中的误差。利用PXI-2567继电器驱动器和其他基于PXI的开关，用户可以通过完全受支持的标准驱动程序API对整个开关系统(包括测试机架中的COTS开关以及测试连接件中的定制继电器)进行编程。

在测试机架和测试连接件中均采用开关的优点

通过在测试机架中采用COTS开关并在测试连接件中采用继电器，可以构建一个易于扩展的开关系统，同时最大限度地降低关键测量或低电平测量中的误差。使用这种架构，可以将用于路由敏感信号的开关置于测试连接件中，并将所有其余开关置于测试机架中。除了可扩展性之外，使用COTS开关还有助于充分利用不同供应商的特有功能，例如NI PXI开关模块中的继电器计数跟踪和硬件触发功能。

在测试机架和测试连接件中均采用开关的缺点

使用开关通常会拖慢测试进程，因为用户需要按顺序对各个测试点进行测量，而非开展并行测量。此外，在测试连接件中接入定制开关还可能非常耗时，并且需要掌握大量的PCB设计专业知识，尤其是在涉及高压或高频信号时。



图 5 NI开关模块符合多种安全与合规性标准

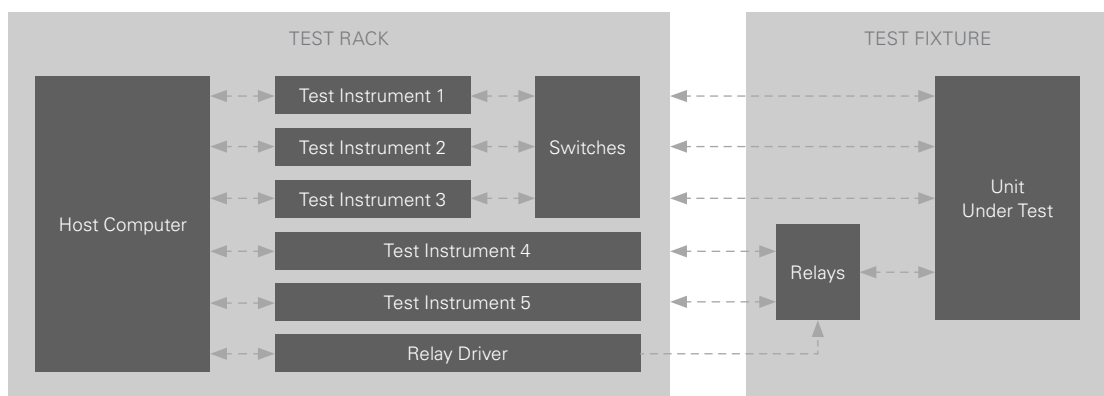


图 6 在测试机架和测试连接件中采用开关的测试系统极具灵活性，但需要额外的设计工作

如何针对具体应用挑选最合适的开关

除了开关位置之外，还需要比较各种开关拓扑和继电器类型，以确保开关子系统符合信号要求和测试目标。对于自动化测试应用，“开关”通常指使用继电器在多个DUT与仪器之间切换信号的COTS设备。开关可以采用多种方式排列继电器，形成不同的开关拓扑，例如通用继电器、多路复用器和矩阵。不同的继电器类型在尺寸、信号额定值和预期寿命等方面各有取舍。本部分将介绍常见的开关拓扑、常用继电器类型、主要开关规格，以及在自动化测试系统中使用开关的常用技巧和窍门。

常见开关拓扑

一旦确定您的应用更适合采用有开关的架构，下一步便是选择最合适的开关拓扑，即选择如何排列继电器来构建大型开关网络。大多数开关供应商的开关产品分为三大类：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，具体可以在软件中进行配置。PXIe-2524有五种不同的拓扑结构可供选择，能够轻松应对不断变化的需求。选择拓扑结构时，务必要考虑所需的连接总数、最大同时连接数以及将来是否需要针对测试系统的变化进行扩展。

通用继电器

通用开关由多个独立使用的继电器组成。如果只是想在闭合/断开电路内的连接或两个可能的输入或输出之间的开关，通用继电器是一个不错的选择。继电器通常按刀掷的数量进行分类。继电器的刀是所有路径的公共端，刀可以连接的位置称为掷。

单刀单掷(SPST)继电器类似于具有闭合和断开状态的标准电灯开关。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，直到继电器被激活才会使继电器触点接通，形成完整的电路。B型SPST则处于常闭状态，直到继电器被激活才会使继电器触点断开连接，从而断开电路。

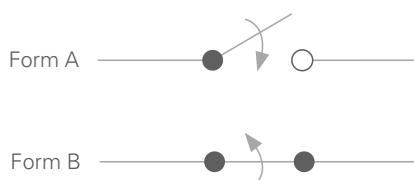


图 7 | SPST继电器的两种形式：常开(A型)和常闭(B型)

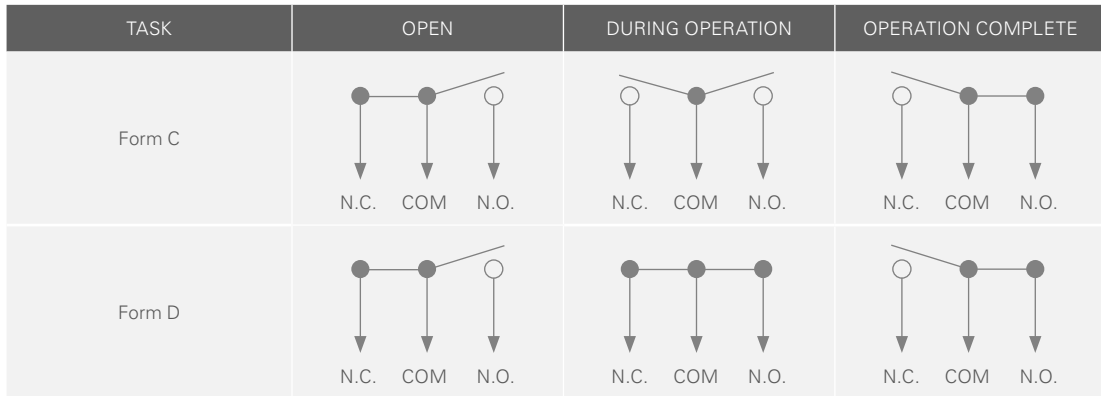


图 8 | SPDT继电器也有两种形式：C型和D型

单刀双掷(SPDT)继电器有一个刀(或公共连接端),可以在常开触点与常闭触点之间切换。SPDT继电器分为C型和D型两种。C型SPDT在激活时会先断开常闭信号路径,然后将继电器连接到常开触点。这种SPDT继电器操作称为“先开后合”或BBM。D型继电器在激活时会先闭合常开信号路径,然后断开常闭信号路径。这种SPDT继电器操作称为“先合后开”或MBB。

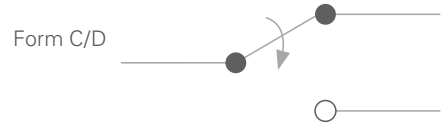


图 9 | SPDT继电器在两个掷(连接)之间共享一个公共端(刀)

双刀单掷(DPST)继电器会同时驱动两个A型SPST继电器,这两个继电器通常使用相同线圈并封装在一起。当需要同时断开或闭合两条信号路径时,DPST是理想之选。理论上也可以使用两个独立控制的A型SPST继电器构建DPST,但驱动这两个继电器时可能存在一定的时间差。

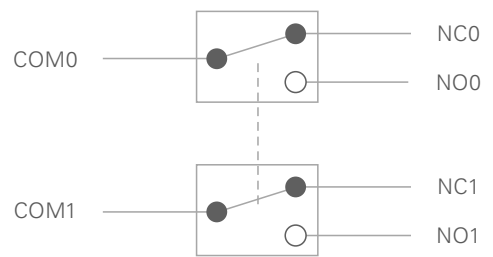


图 10 | DPST继电器可同步控制两个A型SPST继电器

多路复用器

多路复用器是多个继电器的一种组合方式，允许将一个输入连接到多个输出，或将一个输出连接到多个输入。多路复用器可有效地将多个DUT连接到单个仪器。但是，使用这种开关架构时必须事先了解哪些DUT连接需要访问各个仪器。

多路复用器有时会使用多个末端相连的A型SPST继电器。这种构建方法简单有效，但缺点是未使用的信号路径会导致交流信号反射，进而降低开关的额定带宽。

多路复用器有时也会通过级联C型SPDT继电器的方式构建，以此确保交流信号的完整性。这种类型的多路复用器通常需要更多的PCB空间，但同时也减少了可能会降低开关带宽的任何桩线或额外的非端接信号路径。

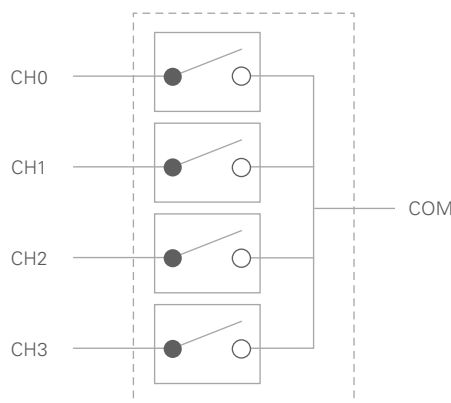


图 11 由多个A型SPST继电器并联而成的4x1多路复用器

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条信号路径。矩阵分为行和列，每个行列交叉点上都有一个继电器，因此可以连接列-列、列-行和行-行的信号路径。借助矩阵的灵活性，用户无需预先定义即可通过各种信号路径将所有开关通道彼此连接。通常建议在硬件规划阶段规划开关路由，但如果使用矩阵，则可以根据测试要求的变化灵活更改开关路由。

矩阵大小通常用M行 x N列(M x N)配置来描述。常见的配置类型包括4 x 64、8 x 32和16 x 16。不过，在大多数情况下，行与列并无明显区别。如果您更习惯从行而不是列的角度进行分析，则可以转置开关矩阵，例如使用64 x 4矩阵代替4 x 64矩阵。

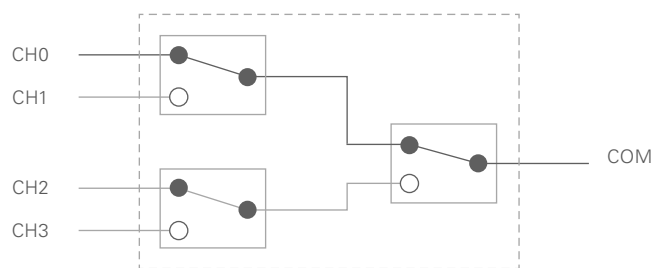


图 12 由多个C型SPDT继电器级联而成的4x1多路复用器

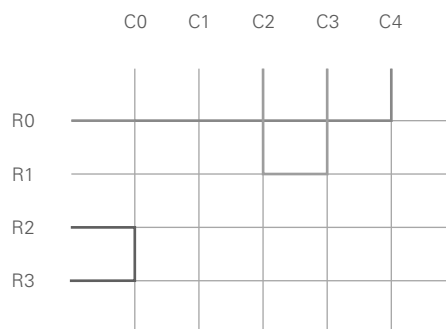


图 13 矩阵可最大程度确保信号路由的灵活性

其他拓扑

绝大多数开关都属于通用继电器、矩阵和多路复用器，不过也有其他专用的开关拓扑，例如稀疏矩阵或故障插入单元(FIU)。

稀疏矩阵是一种混合方案，介于矩阵和多路复用器之间，通常用于射频(RF)应用。通过将两个多路复用器的公共端连接在一起，可以构建包含多个行和列的伪矩阵，但在任何给定时间点只能连接一条信号路径。多路复用器的通道密度通常比矩阵高，因为矩阵的每个行列交叉点都至少需要一个继电器。因此，虽然稀疏矩阵在给定空间内的通道密度相对较高，但每次仍只能在行列之间连接一条信号路径。在

某些交流应用中，信号带宽可能会受到传统矩阵的非端接行和列所形成的桩线影响，这种情况下也非常适合使用稀疏矩阵。

另一种专用开关架构是故障插入单元(FIU)，通常用于硬件在环(HIL)测试系统。对于负责测试嵌入式控制单元可靠性的测试系统而言，硬件故障插入(也称为故障注入)是一项关键的考虑因素，嵌入式控制单元必须能够对故障条件做出已知且可接受的响应。为此，应在测试系统的I/O接口与ECU之间插入FIU，以便测试系统可以在正常运行状态与故障状态(例如对电源短路、对地短路、引脚对引脚短路或开路)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。

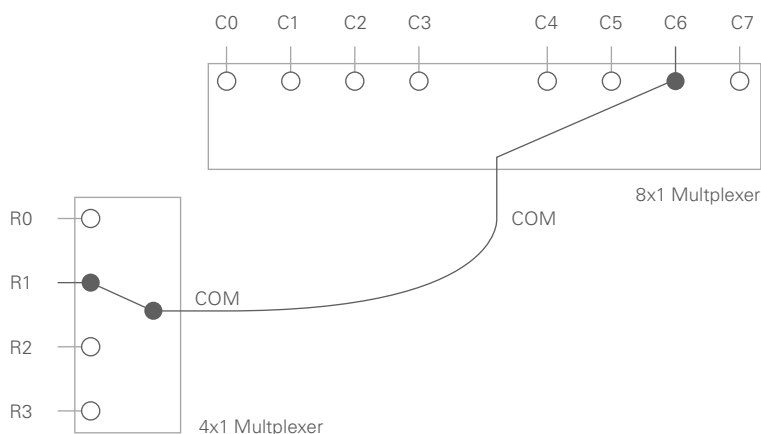


图 14 稀疏矩阵是通过将两个或多个多路复用器的公共端连接在一起构建而成，通常用于切换RF信号

继电器类型

继电器是用于闭合或断开电路连接的远程控制设备。市面上有很多类型的继电器，但最常见的主要有四种：机电继电器、簧片继电器、固态继电器和场效应晶体管(FET)继电器。每种继电器类型都会在开关系统的性能、成本、预期寿命和密度之间进行不同程度的权衡取舍，因此务必要根据应用需求来挑选最合适的继电器类型。

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)仅适用于单个继电器，不包括将继电器连接到开关拓扑的PCB布线或为开关拓扑提供用户接口的连接器。例如，单个继电器可能具有 $0.05\ \Omega$ 的接触电阻和 $300\ \text{V}$ 的额定电压，但成品开关产品可能具有更大的路径电阻(例如 $1\ \Omega$)，其中包括多个继电器和复杂的PCB走线，并且单个继电器可能不需要满足在 $300\ \text{V}$ 电压下安全操作开关产品的PCB爬电距离和电气间隙要求。

机电继电器

机电继电器(EMR)或电枢继电器使用流过电感线圈的电流来感应磁场，以此将电枢移至断开或闭合位置，从而使两个触点接触形成电路。EMR有多种类型，例如锁存型和非锁存型，但其在操作上的差异很小。非锁存EMR使用单个线圈，在电流停止流动后会返回到其默认位置。而锁存EMR在电流停止流动后仍会保持在当前的位置。有些锁存EMR使用单个线圈，通过反转电流来反转磁场方向，从而将电枢推拉到所需的位置。其他锁存EMR使用电枢任一侧的线圈来推动电枢断开或闭合。

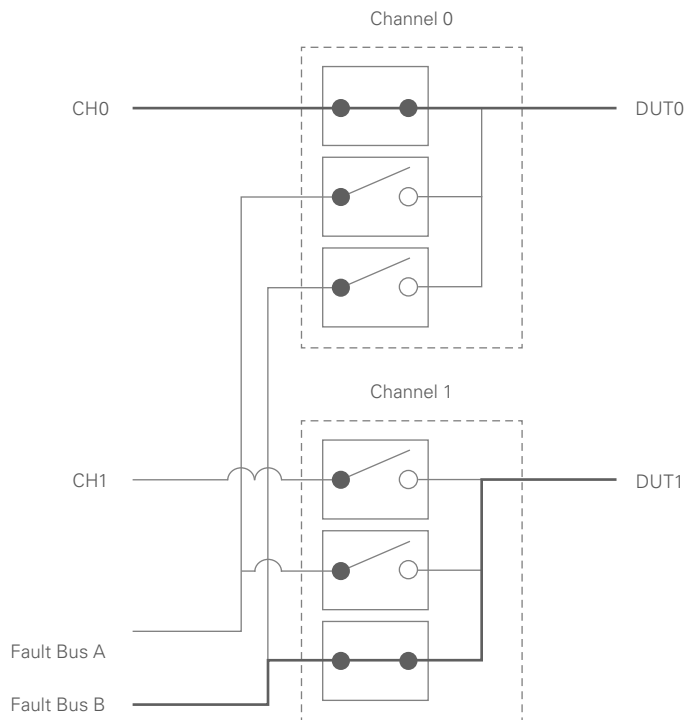


图 15 | FIU支持自动化故障条件测试，通常用于测试嵌入式系统(例如汽车ECU)的可靠性

EMR支持低电压/电流、高电压/电流以及直流到GHz频率等各种信号特性。此外，EMR具有较低的接触电阻(通常远小于 $1\ \Omega$)，并且可以应对意外的浪涌电流和最高 $300\ \text{W}$ 的功率。因此，几乎所有用户都可以找到符合测试系统所需信号特性的EMR。但是，EMR会占用大量的PCB空间，与其他继电器类型相比速度较慢(150 次关断/秒)，并且部件的可移动性会导致生命周期较短(最多 10^6 次关断)。

鉴于这些优缺点，如果需要大功率、高电流或高带宽的耐用型继电器，同时又不介意速度较慢和需要定期更换(因为EMR的性能会随着时间的推移而降低)等问题，EMR会是一个不错的选择。

簧片继电器

簧片继电器同样使用流经电感器的电流来产生用于连接物理触点的磁场。但是，簧片继电器的触点远比EMR更小、更轻。簧片继电器的线圈缠绕在两个重叠的铁磁性叶片(称为簧片)上，簧片密封在充满惰性气体的玻璃或陶瓷胶囊中。当线圈通电时，两个簧片被拉到一起，触点互相接触，在继电器内形成信号路径。当电流不再流过线圈时，簧片的弹簧力会将触点分离。

由于簧片继电器的体积更小，因而可以在更小的空间内安装更多继电器，并且其开关速度高于EMR，最高可达2000次关断/秒。此外，继电器中有限的移动机械部件和隔离的环境可实现更长的机械寿命，最多支持 10^9 次关断。

但是，由于触点尺寸较小，簧片继电器无法处理太大的功率，并且更容易因自热或电弧而受损，导致簧片出现小面积烧坏。如果两个相互连接的簧片在熔化后又发生固化，则触点可能会焊接在一起。在这种情况下，继电器将始终保持闭合，但如果弹簧力足以将两个簧片拉开，则会折断其中一个簧片。为了防止损坏，需要监测可能由于热切换容性

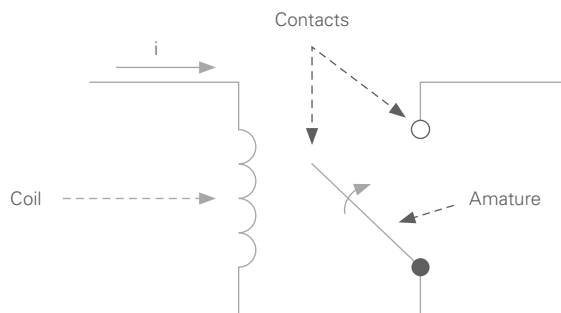


图 16 单线圈机电继电器使用磁场来断开和闭合机械开关

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。有关保护簧片继电器的更多信息，请阅读《[簧片继电器保护](#)》白皮书。簧片继电器兼具小巧尺寸与高速特性，因此成为许多应用的理想之选。簧片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。其中一款典型的产品为PXI-2530B，它是一种COTS开关，可以通过切换各种前置接线端子配置为13种独特的矩阵或多路复用器拓扑。

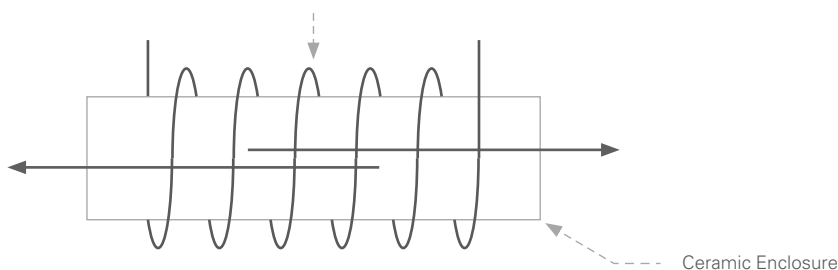


图 17 当电流停止流过线圈时，簧片的弹簧力将触点分开

固态继电器

固态继电器(SSR)属于电子继电器,其内部组件包括用于响应输入的传感器、将电源切换到负载电路的固态电子开关装置以及无需机械部件即可激活控制信号的耦合机构。这种继电器通常使用具有LED的光敏金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)器件来驱动设备。

SSR的速度略快于EMR,高达300次关断/秒,因为SSR的开关时间取决于点亮和熄灭LED所需的时间。由于没有机械部件,SSR不太容易因为受到物理振动而损坏,因而具有无限长的机械寿命。

但是,SSR也有缺点。首先,SSR不如EMR稳定,如果信号电平超出其额定值,则容易损坏。其次,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通过晶体管进行连接而不是采用物理金属连接,因而路径电阻较大,最小也要接近 1Ω ,最大则可能超过 100Ω 。大多数新式SSR都针对路径电阻进行了优化,以减小其影响。

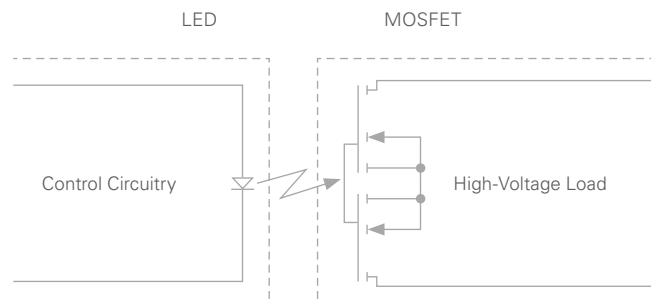


图 18 | SSR使用具有LED的感光MOSFET来驱动设备

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,具有无限长机械寿命的SSR将是绝佳之选。COTS SSR开关的一个示例为PXI-2533,它是一个 4×64 矩阵,额定开关功率为55 W,并且具有无限长的机械寿命。

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远超上述其他类型继电器的开关速度，最高可达60,000次关断/秒。此外，由于不含机械部件，FET继电器的体积比机电或簧片继电器小得多，并且不易受到冲击和振动问题的影响，具有无限长的操作寿命。然而，FET继电器的路径电阻比任何其他继电器类型都高得多，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。

低于平均值 ○ 平均值 ◐ 高于平均值 ●

功能	电枢继电器	簧片继电器	FET继电器	SSR继电器
大功率	●	◐	○	◐
高速	○	◐	●	◐
小尺寸封装	◐	●	●	●
低路径电阻	●	◐	○	◐
低电压偏移	◐	○	◐	●
更长的使用寿命	○	◐	●	●

表 2 | 不同继电器类型的对比

对于低电平信号以及需要快速操作继电器或无限长机械寿命的应用而言，FET继电器是绝佳之选。COTS FET开关的一个示例是PXI-2535，它是一个4 x 136矩阵，能够在不到16 μs的时间内执行继电器操作。

开关扩展

如果自行创建开关拓扑，则可以创建一个精确满足应用尺寸需求的矩阵或多路复用器。但是，许多客户选择使用具有固定尺寸的COTS开关来减少开发工作。因此，了解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非常重要。

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有一条通往公共端的通道路径，因而需要更多的多路复用器。但是，这种方法仍然会形成PCB桩线，导致带宽性能下降。

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。这种方法存在多个输入通道同时短路的风险，可能会造成硬件损坏。因此，需要确保在任何给定时间点只有一个通道连接到公共端。可以使用某些开关软件(如 Switch Executive)定义软件排除条件，防止有多个输入路径同时连接到公共端。这种方法的另一个缺点是未使用和未端接的路由会形成桩线，从而增加电容并降低高频性能。

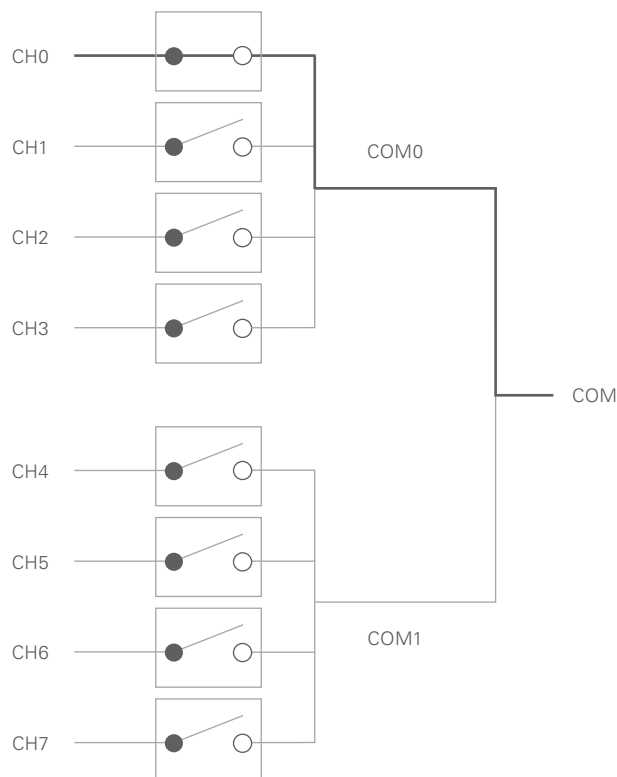


图 19 通过将两个4x1多路复用器的公共端连接在一起，形成一个8x1多路复用器

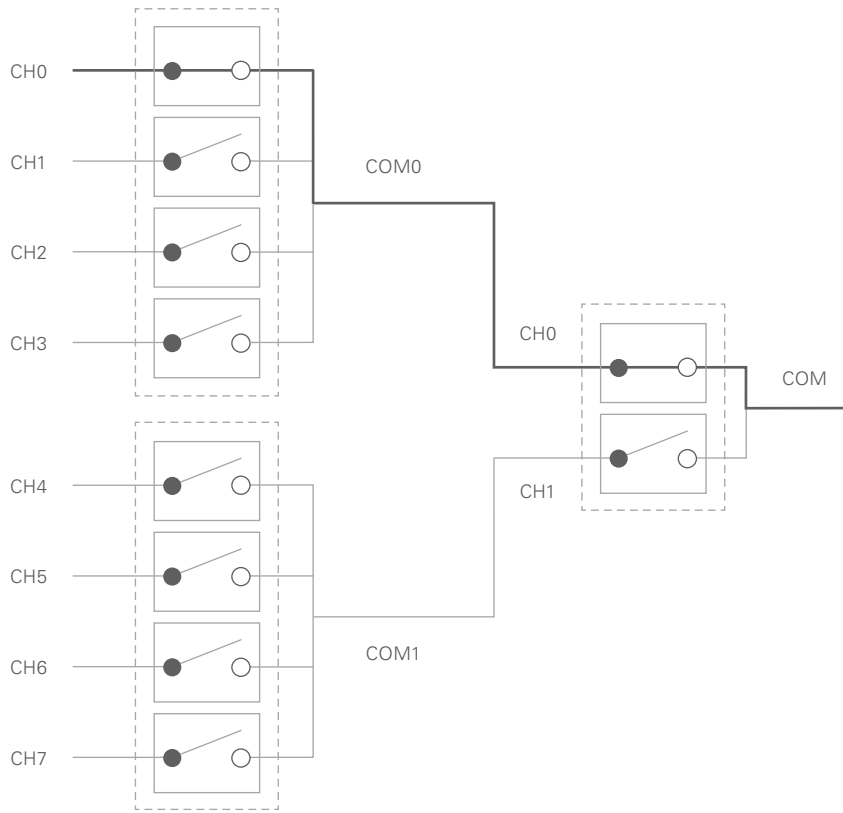


图 20 通过增加一个多路复用器来切换两个4x1多路复用器的公共端，形成一个8x1多路复用器

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，有助于提高开关的带宽。

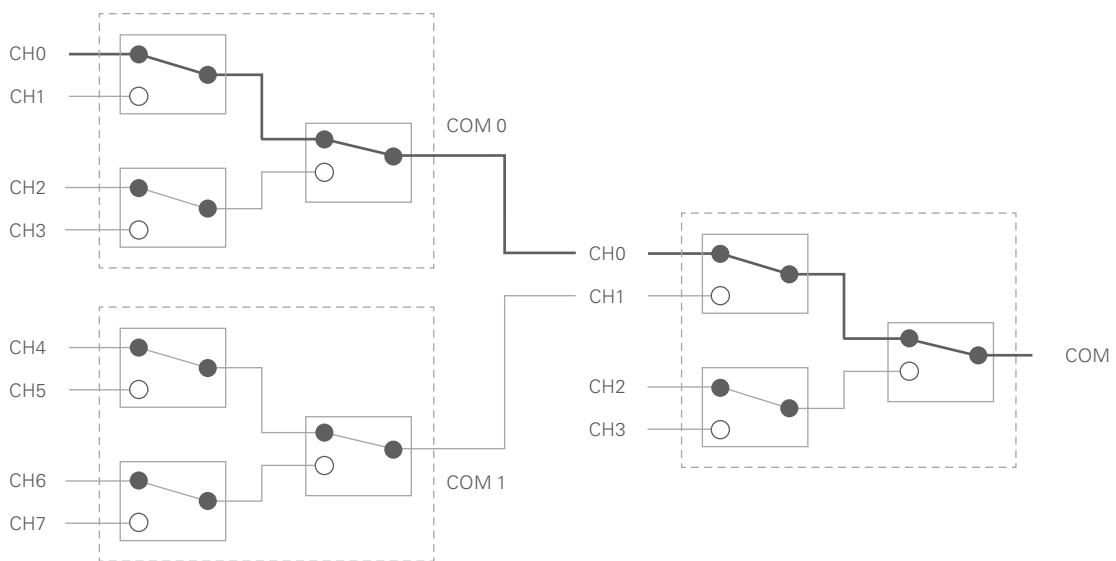


图 21 通过级联三个采用C型SPDT继电器的4x1多路复用器，形成一个8x1多路复用器

矩阵扩展

开关矩阵还可以作为构件，用于创建尺寸远大于单个COTS矩阵开关的大型矩阵。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的每一行，使扩展矩阵的列数加倍。行扩展是指连接两个或多个矩阵模块的每一列，使扩展矩阵的行数加倍。对于低电平信号以及需要快速操作继电器或无限长机械寿命的应用而言，FET继电器是绝佳之选。COTS FET开关的一个示例是PXI-2535，它是一个4 x 136矩阵，能够在不到16 μ s的时间内执行继电器操作。

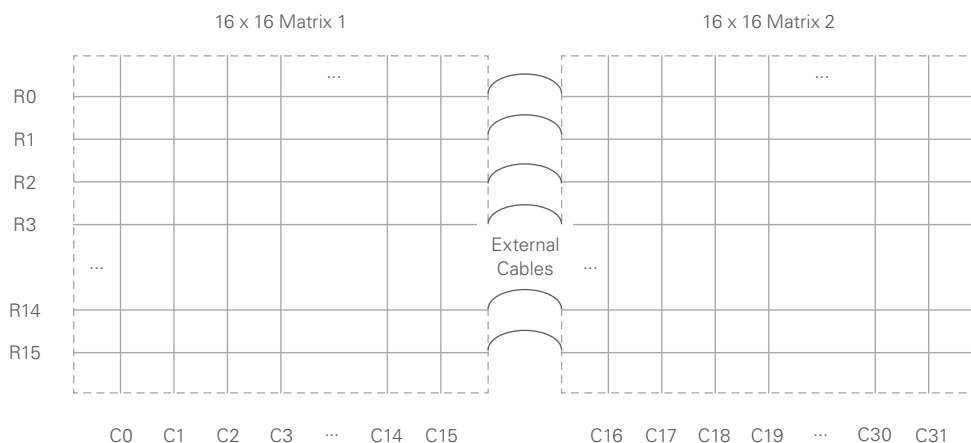


图 22 通过列扩展创建的16 x 32矩阵

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，即使没有预先提供附件，所有矩阵也都支持扩展。如果要手动扩展矩阵，可使用外部导线连接各个矩阵的行或列。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之外，还必须确保开关子系统所连接的信号的完整性。大多数开关按照信号类型分为两类：低频/直流和RF开关。

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，也就是触点可以开关的功率上限。例如，150 V 2 A开关的功率上限为60 W，所以不得同时使用150 V电压和2 A电流(300 W)。因此，除了最大电压和电流之外，务必还要考虑信号的最大功率。

在处理开关时，信号频率也是一个棘手的问题。简单的正弦波经常使用基频来描述信号。但对于方波或具有尖锐边缘的信号，则需要注意，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，如果使用额定频率为10 MHz的开关路由10 MHz方波，输出信号的波形将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。

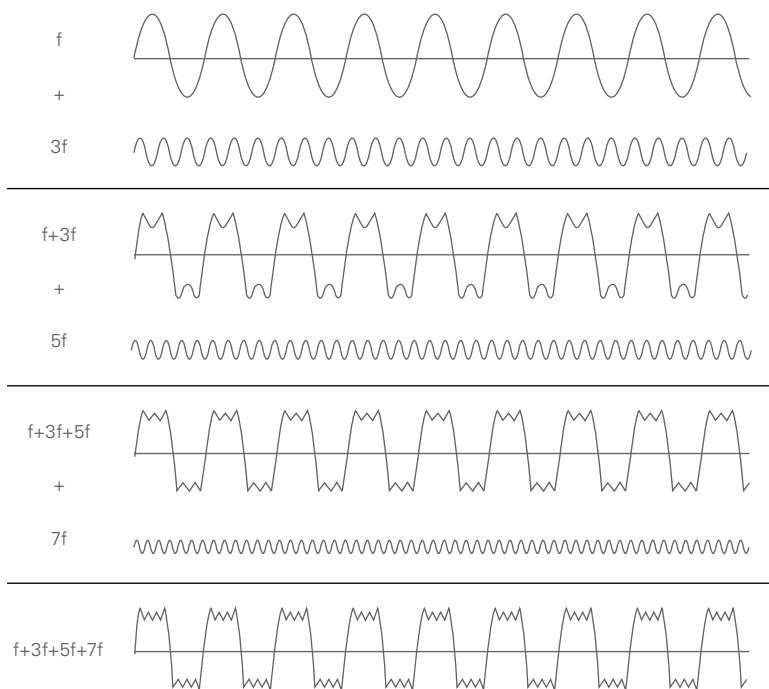


图 23 | 方波信号具有远高于基频的谐波频率

开关路径电阻、热EMF和失调电压会影响低电平信号测量，例如DMM电阻测量。因此，应该选择对测量影响最小的开关，并采用适当的测量技术来抵消这些误差。

有关在切换低电平信号时如何减少误差的更多信息，请参见以下白皮书之一：

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

RF开关规格

额定频率大于10 MHz或20 MHz的开关一般称为RF开关。RF开关通常具有较低的信道密度，可有效保持信号完整性，因此适用于需要较高带宽的信号路径。但是，在挑选RF开关时，仅知道拓扑和带宽信息还不够。

所有RF开关都具有额定特性阻抗，这一传输线参数能够反映出传播信号在信号路径中的传输或反射情况。组件制造商在设计设备时会专门将特性阻抗设计为50 Ω或75 Ω，因为RF系统中所有组件的阻抗必须互相匹配才能最大程度地减少信号损耗和反射。市场上的RF系统多使用50 Ω的特性阻抗，如大多数通信系统。75 Ω RF系统较为少见，主要用在视频RF系统中。请务必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实现阻抗匹配。

除了带宽和特性阻抗之外，其他RF开关规格也可能直接影响信号完整性，如插入损耗、电压驻波比(VSWR)、隔离度、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是反射波与透射波之比，具体来说是“驻波”模式中的电压峰值(当反射波同相时)与电压谷值(当反射波异相时)之比。隔离度是在开路电路上耦合的信号幅度，串扰是在电路(比如独立的多路复用器组)之间耦合的信号幅度。

RF开关一个有趣的现象是所有这些规格会随信号频率而变化。因此，在挑选RF继电器或开关时，应根据信号的特定频率比较这些规格。否则，RF开关很可能无法发挥应有的性能。

有关RF开关选型的更多信息，请阅读《[了解主要RF开关规格](#)》白皮书。

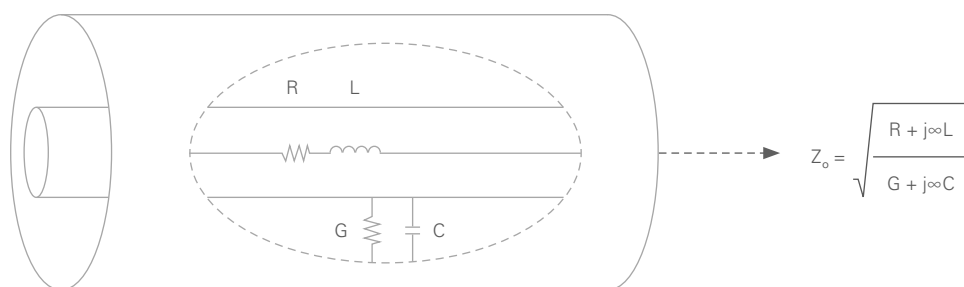


图 24 | 传输线的特性阻抗

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，可以借助一些常规技巧来构建一个可保持信号完整性的高效开关系统。

总测试点数与同时连接数

使用矩阵时，不仅要考虑可能的最大连接数量，还要考虑同时连接的最大数量。如果只关注可能连接的总数，则通常会导致每一行专用于每个仪器的每个I/O引脚。此时可能需要构建不必要的大型矩阵。例如，如果有22个仪器引脚和106个DUT测试点，则需要创建一个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，如果在任一给定时间最多只需要连接四个仪器引脚，则22 x 106矩阵就显得过大，会造成不必要的浪费。可以改为将仪器放置在22个额外的列上，并使用行在列之间进行路由，此方法可将矩阵尺寸减小至4 x 128(512个继电器)，大约为原尺寸的20%。这不但可以节省空间和成本，而且不会影响测试时间或质量。

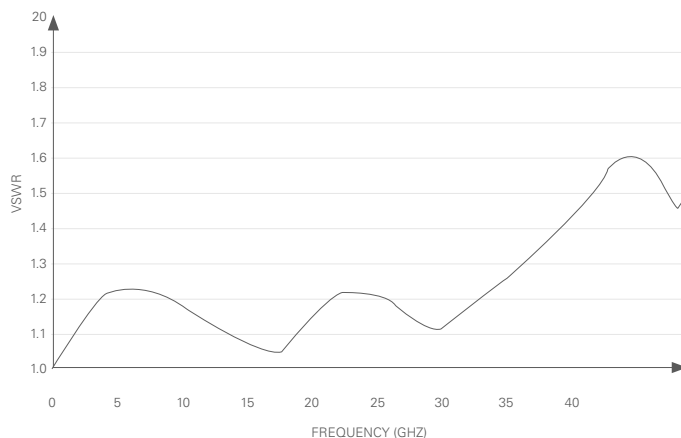
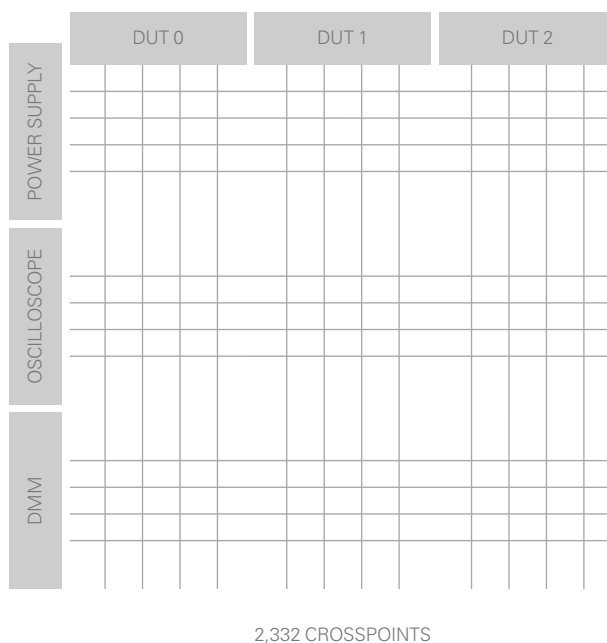
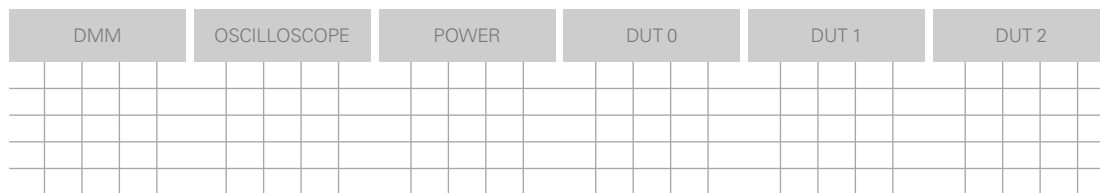


图 25 方波信号具有远高于基频的谐波频率



2,332 CROSSPOINTS



512 CROSSPOINTS

图 26 如果将仪器放置在列上并使用行在列之间进行路由，则可以节省矩阵空间，但需要按顺序执行测试；如果依旧将仪器放置在行上，则可以满足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切换两个或四个信号路径，这一点与标准的1线开关模式有所不同。而在执行测量时，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面为参考的仪器。

用户有时需要同时切换多个信号。2线或差分开关可使用一个命令控制两条信号路径。这种方法可以方便地切换差分信号，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两端的压降。

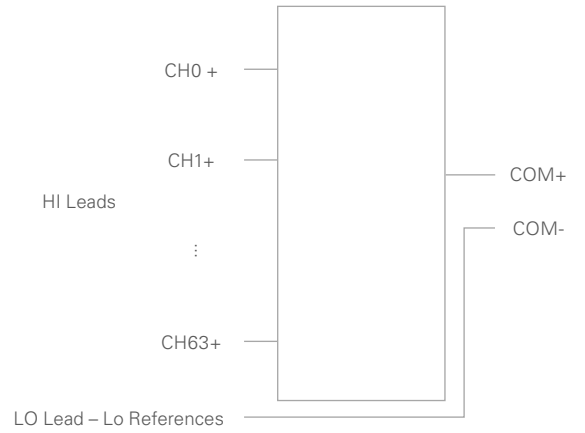


图 27 单端多路复用器非常适合以共享信号或地面为参考的测量

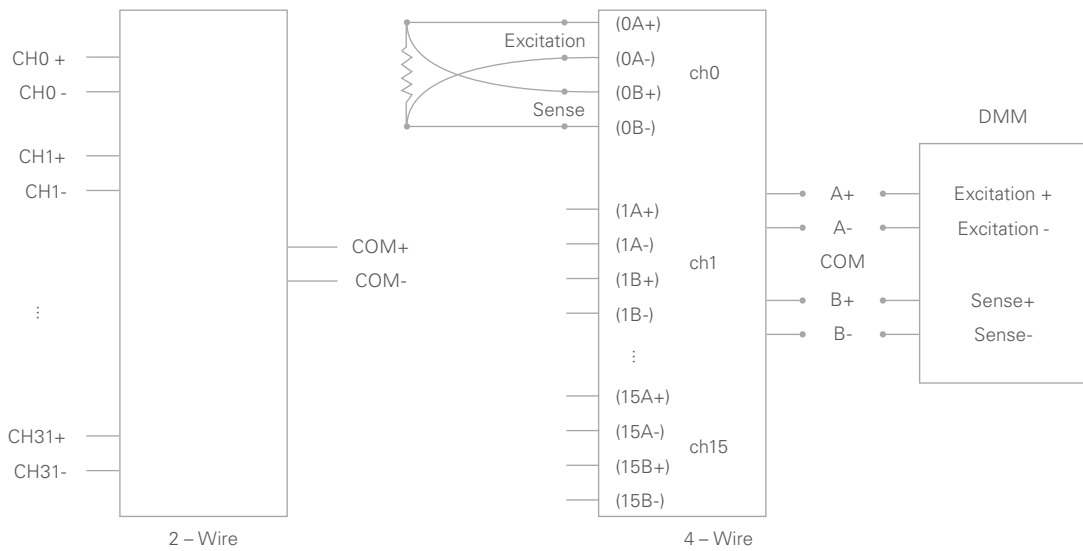


图 28 使用2线或4线开关同时切换多条信号路径

开关功率

很多时候，测试需求规划中会涵盖最大电压和电流值，但却忽略了瞬时功率。假设某个开关或继电器的额定电压和额定电流分别为100 V和2 A，这并不意味着它可以处理200 W的功率。许多开关的最大额定功率与额定电压和额定电流并无明确关联。例如，常见簧片继电器的额定电压和额定电流可能分别为100 V和500 mA，但其最大额定功率可能只有10 W。因此，挑选开关时还应考虑最大瞬时功率。

将高电平信号与通用信号或低电平信号隔离

用于大功率或高频信号的开关在通道密度方面通常低于用于通用信号的开关。因此，应将大功率或高频信号与主开关系统隔离，以维持主开关系统的通道密度。如果为了处理高电平信号而尝试构建一个适用于所有信号的开关，则需要很大的开关尺寸和高昂的成本。

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，例如隔离度、VSWR、插入损耗和RF载波功率都会随信号频率而变化。为了进行准确的比较，需要查看详细的开关规格，找到所需频率对应的规格。此外，一些开关供应商会针对每种类别的开关分别发布保证的规格和典型的规格，而其他开关供应商仅会发布典型的规格，其参数明显优于保证的规格。

考虑使用硬件触发开关实现开关速度最大化

在许多自动化测试场景中，时间就是金钱。许多开关使用软件命令进行单独控制，此时总线延迟会降低每次开关操作的速度，并且会产生额外的软件开销。某些开关提供硬件定时和触发，这样可以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中的连接。每次开关操作完成后，开关会向仪器发送触发命令，启动下一次测量。

这种操作称为开关握手，可以避免与传统软件触发开关相关的软件开销和总线延迟。开关握手对于高速型继电器(例如FET或SSR)尤其重要，因为软件开销和总线延迟会大幅降低每次开关操作的速度。使用开关握手时，簧片继电器的总开关时间可缩短10倍，而FET开关的总开关时间可缩短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。

附加信息

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基于PXI的灵活模块化开关解决方案都能满足您的需求，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。

[进一步了解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，能够加速开发过程、简化对复杂开关系统的维护。该应用程序提供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，可帮助用户轻松设计开关系统并进行文档记录。

[进一步了解Switch Executive](#)

NI Switch Health Center

为了简化高通道数系统的继电器维护并提高系统可靠性，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或卡在断开/闭合状态，并报告电阻的变化，以使用户确定继电器是否即将“寿终正寝”。

[进一步了解NI Switch Health Center](#)

