

阿尔泰科技_开关卡 ART_SWITCH

用户手册

V1.1



■ 关于本手册

本手册为阿尔泰科技推出的 ArtSwitch 系列设备的用户手册，其中包括产品树、PXI 开关结构、PXI 开关模块电源选择、继电器介绍、线缆及配件等。

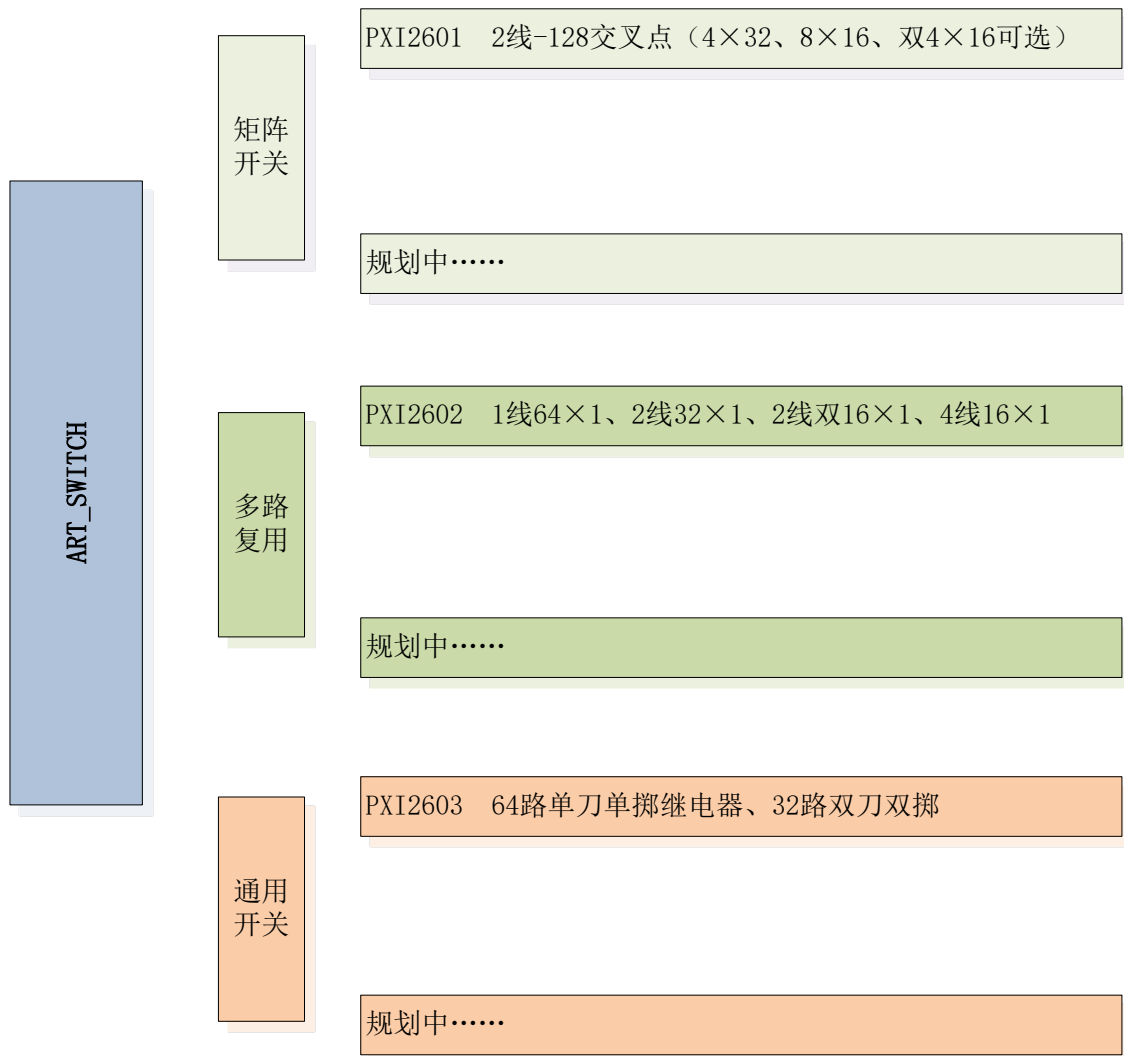
文档版本：V1.1

目 录

■ 1 产品树.....	4
■ 2 PXI 开关结构.....	5
2.1 通用开关.....	5
2.1.1 定义.....	5
2.1.2 类别.....	5
2.2 矩阵开关.....	6
2.2.1 定义.....	6
2.2.2 类别.....	7
2.2.3 2 线矩阵开关工作原理.....	9
2.2.4 矩阵开关尺寸选择.....	10
2.2.5 矩阵开关大小扩展.....	11
2.2.5.1 使用集成矩阵扩展.....	11
2.2.5.2 添加其他设备或模块扩展.....	11
2.2.6 矩阵开关可用带宽.....	12
2.3 多路复用开关.....	13
2.3.1 定义.....	13
2.3.2 类别.....	13
■ 3 PXI 开关模块电源选择.....	16
3.1 PXI 背板电源考虑.....	16
3.2 PXI 开关模块功耗.....	17
3.2.1 主要热源.....	17
3.2.2 PXI 模块功耗的评估.....	17
3.2.3 PXI 模块其他功耗.....	17
■ 4 继电器.....	19
4.1 继电器的类型.....	19
4.1.1 机电继电器.....	19
4.1.2 固态继电器.....	21
4.1.3 场效应晶体管开关.....	21
4.2 继电器的额定参数.....	22
4.2.1 机械寿命.....	22
4.2.2 额定电压.....	22

4.2.3	冷切换额定电压.....	22
4.2.4	最小切换电压.....	22
4.2.5	切换电流.....	23
4.2.6	负载电流.....	23
4.2.7	脉冲负载电流.....	23
4.2.8	额定功率.....	23
4.2.9	吸合时间.....	23
4.3	继电器的冷/热切换.....	24
4.3.1	冷切换.....	24
4.3.2	热切换.....	24
4.3.3	结论.....	26
4.4	继电器的最小开关容量.....	26
4.5	继电器的热电动势.....	26
4.5.1	机电继电器.....	26
4.5.2	固态继电器.....	27
4.6	继电器寿命试验.....	27
4.6.1	正常寿命试验.....	27
4.6.2	加速寿命试验.....	27
4.7	继电器的故障.....	28
4.7.1	继电器故障方式.....	28
4.7.2	寿命终止故障.....	28
4.7.3	万用表查找继电器故障.....	29
4.7.4	更换故障继电器.....	29
5	线缆和连接器配件	30
5.1	连接器配件选择.....	30
5.2	配件兼容性.....	30
5.3	正确选择配件.....	30
5.3.1	连接器.....	30
5.3.2	线缆组件.....	30
5.3.3	接线端子.....	30
5.3.4	接线盒.....	30
6	PXI 开关模块的屏蔽.....	32
6.1	屏蔽组织.....	32
6.2	屏蔽连接.....	32
6.3	传输线和屏蔽.....	33

1 产品树



2 PXI 开关结构

本章主要介绍 PXI 开关拓扑结构，主要包括通用开关、矩阵开关和多路复用开关，为用户在使用 PXI 开关模块过程中提供相关参考。

2.1 通用开关

2.1.1 定义

通用开关是指由单个继电器构成的一类开关体系结构。用户可以将这些继电器互连，形成标准开关结构，如 MUX 或矩阵，应用到自己的体系结构，或者简单地用于切换单个信号线的通断。当用于创建更大的标准开关结构时，这种方法的缺点就是成本相对较高，或者性能较低，主要是因为连接器较高的引脚使用率，加上需要将继电器与连接器都要连接在一起，从而也导致密度很低。

然而，这也使得他们非常灵活，特别是当使用外部互连系统，如大规模互连解决方案，使系统被重新配置为不同的应用。由于这个原因，它们可以用于在设计支持各种产品的测试系统中，在这些产品中，尽量减少所需测试系统的数量是非常重要的。

2.1.2 类别

2.1.2.1 单刀单掷（SPST）



图 2-1-1 单刀单掷拓扑结构

单刀单掷（SPST）开关具有单输入单输出连接。继电器是打开的，或者是关闭的。最常见的配置（也被认为是簧片继电器上最可靠的配置）是当开关系统不供电或处于默认状态时，继电器处于打开状态。

有些应用程序倾向于使用默认是关闭状态，例如涉及故障插入的应用程序，因为即使开关被重置或断开电源，也会保持连接。

2.1.2.2 单刀双掷（SPDT）

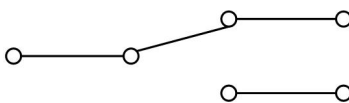


图 2-1-2 单刀双掷拓扑结构

单刀双掷（SPDT）开关也称为转换开关，单刀双掷开关将单个输入连接到两个输出中的其中一个。输入端通常称为公共端（COM），输出端是常闭（NC）和常开（NO）。

2.1.2.3 双刀单掷（DPST）

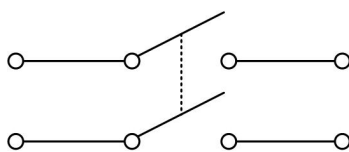


图 2-1-3 双刀单掷拓扑结构

双刀单掷（DPST）开关有一对输入和输出连接。这两个路径都是打开的，或者是关闭的，如果一个路径打开，那么第二个路径也肯定是打开的，因此图中显示了一条虚线，以说

明这两组路径状态是一致的。与 SPST 一样，最常见的默认（不供电）状态是常开的，但通常常闭状态也是可用的。

2.1.2.4 双刀双掷（DPDT）

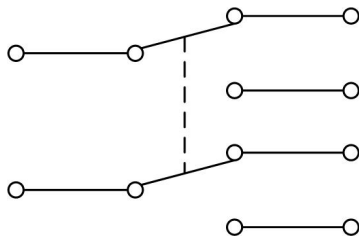


图 2-1-4 双刀双掷拓扑结构

双刀双掷（DPDT）开关有两个转换开关（SPDT），将两个输入连接到四个输出中的其中两个。输入端通常称为公共端（COM），输出端是常闭（NC）和常开（NO）。由同一驱动器机械操作。虽然在一个接触点焊接的情况，会导致第二极点操作的退化，但它并不阻止接触点的移动。

2.1.2.5 更高极点数

“极点”通常是指支持的独立（电隔离）连接的数量。继电器可以很方便地构造成有两个极点（许多 EMR 有两个极点，簧片继电器使用由同一个线圈操作的两个簧片）。如果需要两个以上的极点，最常见的解决方案是使用由线圈执行器操作多个单独的继电器，这些继电器要么是公共的（一条控制线操作多个继电器），要么是逻辑上的分组（执行器将多条控制线组合在一起作为一个控制功能）。

2.1.2.6 安全或力引导继电器

由于安全继电器体积大、成本高，在一般用途应用中不常用，安全继电器的设计使得如果一个触头焊接，则其他触点不能改变其位置。这允许其他接点被用来检查安全继电器已焊接通过监测一个其他接点的状态。一些版本的安全继电器提供更高弹性的极点，以支持这种类型的使用。

2.2 矩阵开关

2.2.1 定义

矩阵是最灵活的开关配置之一。矩阵可以将多个输入连接到多个以列和行形式组织的输出。可以将任意列连接到任意数量的行，将任意行连接到任意数量的列。在行和列的每个交叉点都有一个开关。当开关闭合时，行连接到列。

矩阵大小通常被描述为 c 行 r 列（ $c \times r$ ）。下图显示了一个单线 2×4 矩阵。

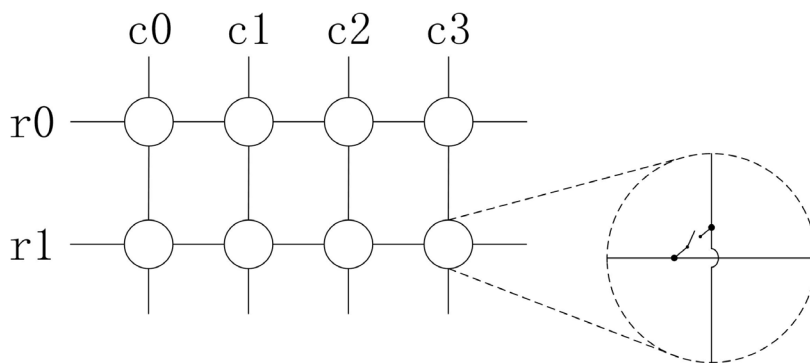


图 2-2-1 单线 2×4 矩阵拓扑结构

2.2.2 类别

实现矩阵有两种常见的方法，通过这两种方法的组合，又可以另外产生很多种实现矩阵的方法。通常一个矩阵的功能图通过绘制交叉点的方式来简单表现它的功能，这就导致我们难以明确这个矩阵到底是通过树状多路复用器还是交叉点布置的方法来实现的。为了降低用户编程的难度，产品配套的驱动程序掩盖了硬件方面的复杂性。

2.2.2.1 交叉点矩阵开关

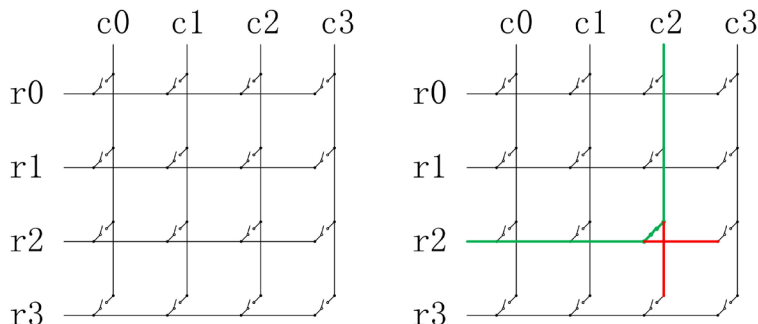


图 2-2-2 4x4 交叉点矩阵开关

交叉点矩阵使用一组单刀单掷（SPST）继电器开关来建立 r - c 的路径。当 $r2$ 到 $c2$ 的路径闭合时（上图右边绿色线路）， $r2$ 与 $c2$ 上一段残端（红色的线）就会出现在线路中，限制了矩阵的带宽。

在交叉点矩阵应用中，每一个交叉点上都有一条线路通过一个继电器将 X 轴与 Y 轴进行连接。这是一种相对简单且容易理解的布局方式。另外这也使得在允许的连接方式下，布局的灵活性得到很大的提高。但是，这种布局方式不太适用于高频应用，因为矩阵的结构限制了接口带宽。

在上述例子中，当 $r2$ 通过继电器连接到 $c2$ 时，红色那段线路就成为了一段残端（无端接传输线）。在低频时，残端会使得线路上的电容增大，从而限制了无损传输时的最高频率。这段线路同时也成为了一条传输线。当这条传输线长度为信号波长的四分之一时，在远端的开路会对信号造成反射，在线路上形成一个驻波，在闭合的继电器上形成短路，造成很高的线路损耗。

残端的长度取决于所选择的是哪条路径。例如图中 $r3$ 到 $c3$ 的路径上没有多出的线路，因此这条路径不会因残端受到干扰。但这条路径仍然存在缺陷，由于各个交叉点处的继电器会引入寄生电容（或称为短残端），因此这会导致信号电平的损失。除此之外，其他继电器线路也会在很大程度上形成干扰加剧了这种损失。

其他一些路径上存在不止一条残端，例如 $r1$ 到 $c1$ 路径，可以清楚地看到在 r 和 c 轴上均存在残端。在大型矩阵中，这些残端可能会相当长。

在为交叉点矩阵的 PCB 板布线时，通常不会围绕传输线阻抗进行设计，而是会根据开关系统中承载电流和额定电压来设计布线。由于布线密度不高，典型的交叉点矩阵往往具有较低的传输线阻抗——PCB 层数很多，从而每个层都相当薄。

布局也可能跟功能图所示的简单排布不一致，比如在实际布线时， $r3$ 到 $c3$ 可能不是相距最远的两个点。

这种类型的交叉点开关在一些对于接口带宽要求不是很严格的低频应用中是比较理想的。这是一个在用户限制较少时具有很高成本效益的解决方案。比如，它实现了在连接方式上的高度自由，无论是 c 到 c 的连接，还是 r 到 r 的连接或者 r 到 c 的连接，都可以实现。这种方案尤其适用于测试仪器和被测装置都连接到 c 轴的应用案例。

2.2.2.2 树状多路复用矩阵开关——阻塞矩阵

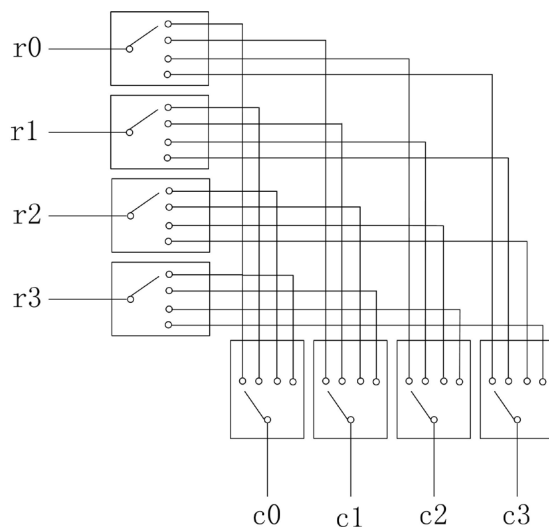


图 2-2-3 4×4 树状多路复用矩阵开关

在应用中，当对接口带宽有一定的要求时，就需要用到另一种不同于交叉点结构的矩阵开关，基于使用树状多路复用器的矩阵结构。这种矩阵是由一组用于 r 轴输入的多路复用器和一组用于 c 轴输出的多路复用器相连接组成的。一个 4×4 的矩阵一共需要 16 条接线相连，而且许多路径都会交叉。当矩阵规模增大，相应所需的接线数量也随之变多。

树状多路复用器进行了接口带宽的优化，它不会形成无用路径（残端），并且可以用最少数量的继电器连接任何 r - c 的路径。但是，随着继电器总数增多，这毫无疑问地会导致额外成本增加。加上多路复用器内部连接需要许多点对点的连接线路，这方面的花费昂贵而且在设计中难以实现并且会导致更低密度的设计。

除了增加了成本以外，树状多路复用矩阵还存在另一个缺陷，无法进行 c 到 c 或 r 到 r 的同轴互连。由于这种矩阵只能选择一个路径，而且所有的节点都不会同时连接到两个线路上，因此无法实现同轴互连。同样地，矩阵上的两个信号也无法到达同一条连接线上（因此这种矩阵类型也有另一个称谓“阻塞矩阵”）。这种矩阵是专门为 r - c 的连接而设计的，当出现 c - c 、 r - r 或者两个信号尝试连接到同一端的情况时，驱动程序会将其锁定使其失效。

2.2.2.3 非阻塞矩阵

“非阻塞矩阵”是树状或阻塞矩阵的一个变体，这种矩阵包含了一组复杂的功率分配器，可以使从两个输入端口进入的信号叠加汇合到同一个输出端口或者将一个输入端口同时连接到多个输出端口。有些应用案例需要这种矩阵，但由于这些应用都是带有功率分配器复杂组件，因此会造成非常高的插入损耗。假如用增加放大器的方法来克服插入损耗，那么矩阵则会变成单向的。

2.2.2.4 无残端矩阵

交叉点矩阵总是有轨道的设计，这是“残端”作为非终端传输线。无残端矩阵是通过使用不同的继电器来避免这些长传输线残端。

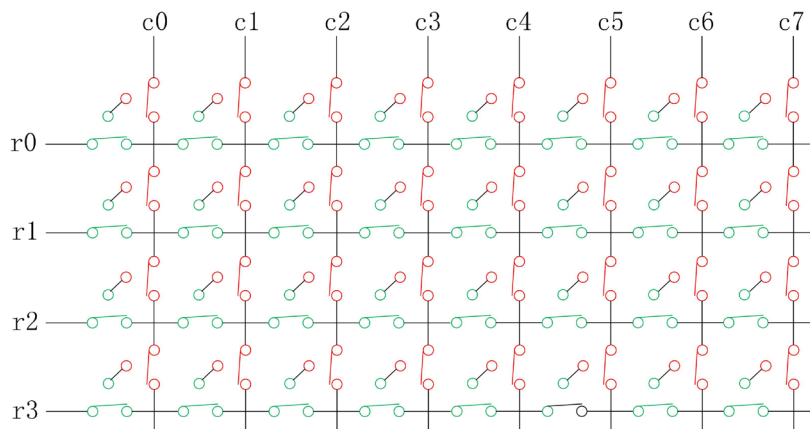


图 2-2-4 4x8 无残端矩阵

与使用 SPST 继电器实现交叉点不同，每个交叉点由两个转换继电器构成，如上图所示。这两个转换继电器可以在同一个继电器中，也可以是独立的继电器，这取决于所需的性能级别。当继电器位于所示位置时，r 轴上的信号直接通过矩阵。为了使 r 到 c 连接，然后在交叉点操作绿色和红色继电器，并建立一条路径，该路径也断开向前的轨道，因此创建一条没有限制带宽的残端路径。

与基于树状多路复用器的矩阵一样，路由施加了一个限制，即只允许来自给定 c 或 r 的一个连接，如果允许多个连接将产生不可避免的射频问题。每条路径都有不同数量的串联继电器，因此与基于树状多路复用器的矩阵不同，插入损耗对于所有路径都很难做到相同。

2.2.2.5 混合矩阵

在某些情况下，矩阵的设计者会将各种方法结合起来实现一个矩阵。比如，他们可能会用一些更小规模的交叉点开关组成一个矩阵，然后再利用一个树状多路复用器（Tree MUX）或者适当接口带宽的传统多路复用器，将信号传送进去。这样做使得硬件更加复杂，但是对于用户来说，驱动程序掩盖了这种复杂性，用户可以通过驱动轻松地操作相应的开关。下图展示了一个 8x16 的矩阵。

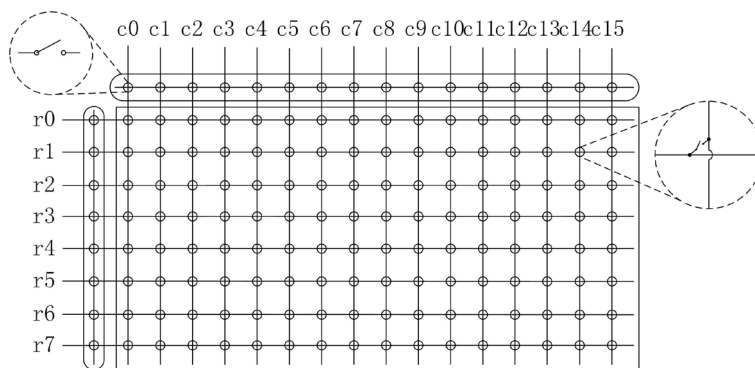


图 2-2-5 8x16 带有隔离开关的矩阵的简化功能图

除此之外，对于一些特殊的应用案例，为了减少成本开支和优化性能，混合矩阵还有很多其他的实现方法。

2.2.3 2 线矩阵开关工作原理

对于 2 线矩阵，行点和列点有两个信号路径，这些点将以对的形式切换。

每个交叉点由一个继电器实现，该继电器有两个独立的触点，由一个控制线控制两个触点要么同时打开，要么同时关闭，其中一个是关闭的，另一个是打开的。如果您选择 c0-r0 之间的交叉点连接，c0+ 将连接到 r0+，c0- 将连接到 r0-，不能分开连接。

在某些情况下，继电器不在同一个封装中，在这种情况下，设计者可能会考虑，使得两个线圈由相同的控制线驱动，或者使软件聚合线圈驱动器，使它们表现为一个控件。

在某些情况下，还需要将源作为差分系统连接，在这种情况下，切换系统也可能具有受控的差动线路阻抗。但是，要注意不要假设一个双极开关是一个很好的差动开关，因为传输线阻抗是不被控制的，除非是专门为切换差分信号而创建的。设计用于差动操作的开关系统也可能产生较低的发射，并且比简单为双刀操作而设计的开关具有更好的串扰，因为在设计用于差分操作的系统中，轨道是在近距离路由的，并且与其他信号线有更大的距离。这意味着注入到一条信号线上的串扰很可能在幅度上与在另一条信号线中注入的串扰相似，从而引入共模信号而不是差分信号。

2.2.4 矩阵开关尺寸选择

用户们最常碰到的问题就是要怎么决定一个应用需要多大尺寸的矩阵。成本是选择矩阵尺寸时很重要的一个考虑方面，当然性能也非常重要。矩阵尺寸越大，那么信号线上所承受的负载就越多，除非另外使用更多的开关来降低负载。

一个常见的误解是矩阵应该通过一个 r 轴连接测试源，通过 c 轴连接待测单元。通常这种连接方式会导致开关系统效率低下，矩阵尺寸大小和成本通常跟节点数量有直接的关系，节点数量等于 c 轴尺寸乘以 r 轴尺寸。

一个高效的方法是将测试源和待测单元都置于同一个轴上，然后用其他 r 轴来提供连接。

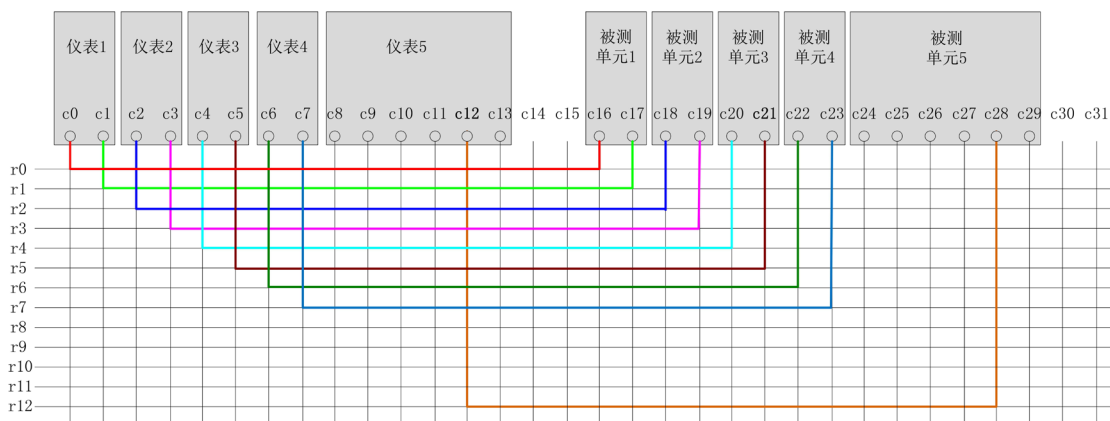


图 2-2-6 将 c 轴用于系统仪表和被测试连接的单元

这个方法需要 c 轴数量大于等于待测单元连接的数量加上测试源连接的数量。而 r 轴的尺寸不是取决于测试源连接的数量，而是取决于同一时间所需的连接总数。在同一时间所有的测试源都处于连接状态的情况是非常少见的，因此通常 r 轴尺寸要求并不会太大。比如使用数字万用表进行 4 线测量， $\times 4$ 的 r 轴已经足够用来进行 4 线测量，但是前提是要保证没有其他连接。对于大部分测试系统应用来说， $\times 6$ 、 $\times 8$ 、 $\times 12$ 或 $\times 16$ 是不错的选择。用户可以根据准备同时进行的测量数量，以及成本来考虑矩阵尺寸，测试数量越多，系统测试就进行地越快，成本也会越高。

将 c 轴用作 r 轴的唯一缺点是，由于各个通道都被两个串联的继电器相连，因此有些通道上的通道电阻会比较高。由于连接相对比较靠近，因此其他一些通道会比较短，从而减小了铜损。对于较大的矩阵来说，铜线的电阻是通道电阻的主要因素，而非继电器接触电阻。

为了简化线缆连接，用户可能会想这样设计系统，待测单元连到一个连接器上，而测试源连到另一个不同的连接器上。这种设计想法只有当开关系统较为大型且具有更多的面板空间用于放置连接器的时候才可行。

2.2.5 矩阵开关大小扩展

2.2.5.1 使用集成矩阵扩展

由于各种原因，用户需要扩展矩阵大小，但是会出现比较常见的问题，例如所使用的矩阵大小不能作为单个设备/模块使用。对于 PXI 来说尤其如此，板卡尺寸结构限制了可以实现的矩阵的大小。虽然许多设备/模块可以扩展，但这并不是一种非常经济的选择，除非被设计成易于扩展的模块。

在 PXI 模块中，一般选择集成矩阵板卡，因为相比使用连接在一起的继电器有更多优势：

- 1、它节省了人力和布线的工作，将终端块连接在一起，节省了劳动力和购买连接器配件的成本。
- 2、更可靠。
- 3、它不需要额外的测试来检查切换系统是否正确配置。
- 4、矩阵可以被简单地编程为矩阵，而不是单个部件的集合，从而使测试程序开发更快、更简单、更不依赖于广泛的开发工具。
- 5、由于连接距离较短，集成在 PCB 中，所以性能得到了改善。

2.2.5.2 添加其他设备或模块扩展

由于在某些情况下，用户别无选择，只能通过添加其他设备或模块来扩展开关系统。

(1) 直接连接

在这种情况下，用户通过添加直连电缆直接扩展矩阵，以连接矩阵的 r 或 c 轴。这是最简单的扩展方法。如果只需要进行 r 轴扩展，两个设备的 c 线连接在一起，因此系统就会有一组 r 轴和两组可用的 c 轴(每个设备为一组)，r 轴现在连接的继电器数量是它的两倍。

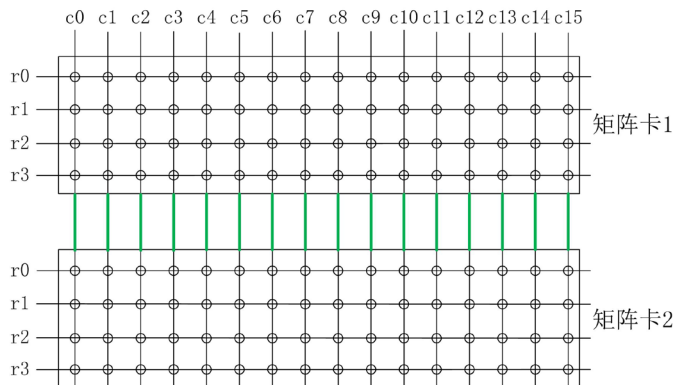


图 2-2-7 将 c 轴直接连接扩展 r 轴

(2) 隔离继电器

在这种情况下，矩阵包括隔离继电器，在不需要连接时断开矩阵。由于连接的电缆之间两个点没有断开，就会导致带宽降低，会远低于直接连接。

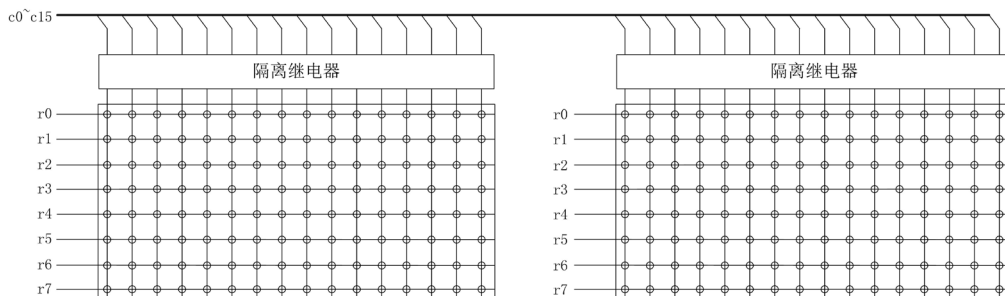


图 2-2-8 隔离继电器以扩展矩阵

(3) 使其易于扩展

最容易扩展的矩阵是那些使用独立于被测单元连接（r 或 c）的连接器完成扩展的矩阵，因为扩展可以很容易地管理，而不会影响用户主要感兴趣的连接。

2.2.6 矩阵开关可用带宽

理解矩阵的最大可用带宽似乎很简单，但在实践中，这个问题比最初看上去会更加复杂，特别是在交叉点矩阵和树矩阵的情况下。

大多数数据表提供描述带宽的输入，通常以插入损耗比在 50 欧姆系统中测量时的低频值增加 3dB 的频率来表示。然而，在用户应用程序中，需要考虑几个主要参数，带宽只是参数之一。

(1) 残端

不可避免地会有“残端”，通常通过矩阵的传输线阻抗很低，因为这些残端和 PCB 上的连接器紧密互连。通常用矢量网络分析仪测量带宽时，必须在可重复的条件下测量，这通常意味着它在 50 欧姆系统中，除非产品应用目标是一个不同的阻抗（例如广播系统为 75 欧姆，以太网为 100 欧姆微分）。矢量网络分析仪源阻抗为 50 欧姆，矢量网络分析仪负载阻抗为 50 欧姆。在处理低频信号的许多应用中（例如，低于 10 MHz），源阻抗和负载阻抗可能与 50 欧姆有很大不同，这意味着在这些条件下，带宽也将是不同的。

(2) 方波的带宽

有些应用需要矩阵或树矩阵来传递方波信号，方波可以是特定的波形，也可以是逻辑信号驱动器，例如串行连接上的驱动。方波包含一个基本信号，然后是一组有助于形成波形形状的谐波，对于一个方波，所有这些都是奇数谐波（3, 5, 7 等），但是对于一个更不规则的脉冲波形，也会有偶数谐波（2, 4, 6）。

需要通过方波的带宽在很大程度上取决于准确地保持方波形状的重要性，因为谐波的衰减和相移都会产生波形失真。当 3dB 处于 7 次或更高的频率时，波形形状保持良好，在更接近带宽/方波频率的情况下，某些应用可以很好地应用，例如在串行环路的情况下。

(3) 驻波比

通常，矩阵的低阻抗意味着在某个频率下，矩阵的驻波比（以 50 欧姆为单位）将开始达到一个不可接受的值。回波会产生振幅响应不确定性，因为系统中的反射信号会反射，并建设性地或破坏性地添加到想要的信号中，而当信号条件要求非常高的负载阻抗时，这种情况就会变得更糟。因此，在实际应用中，信号阻抗和后回波是影响有用带宽的重要参数。

如果系统是基于 50 欧姆（信号和负载），作为一般规则，大多数工程师的目标是在 1.6 以下的驻波比，当然，超过 2.0 的驻波比就会引起注意。交叉点矩阵在频率达到 3dB 之前往往具有很高的驻波比。这可能是一个问题，但如果系统一般使用低阻抗电路（源和负载），表现驻波比可能更好。

(4) 串扰

串扰也是需要考虑的参数之一。当考虑交流信号时，选定的通道可能与矩阵中的其他通道具有耦合。这可能是相邻的通道（例如 r1 向 r2 注入串扰），但是设计中的布局问题也是可能导致串扰的原因，因为 PCB 布线布局可能不遵循功能图的模式。

如果正在测量信号，则来自其他信道的串扰可能会在该测量中产生误差，可接受的串扰量非常依赖于应用。串扰量大小还依赖于信号的相对电平，如果在同一矩阵中有来自强信号的干扰下测量弱信号，则比信号电平相似的串扰性能更好。如果源阻抗和负载阻抗增加，串扰将变得更糟，因为串扰通常是由通道间电容造成的。

2.3 多路复用开关

2.3.1 定义

多路复用开关是一种可以将一个输入连接到多个输出或一个输出连接到多个输入的拓扑结构。这种拓扑通常用于扫描，适合将一系列通道自动连接到公共线路的设备。

2.3.2 类别

多路复用器的分类：传统多路复用开关和树状多路复用开关。

2.3.2.1 传统多路复用开关

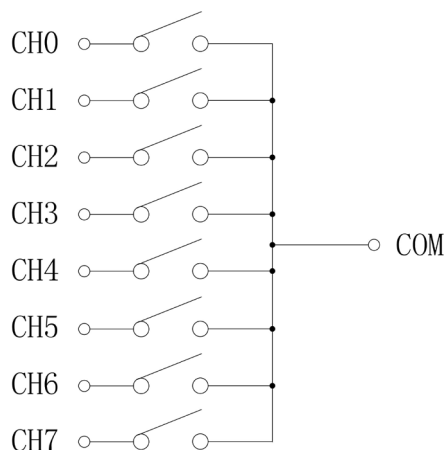


图 2-3-1 常规多路复用开关

在传统多路复用开关中，公共端连接被用作输入（或者输出），并通过继电器连接到各种不同的路径。所有基于继电器的多路复用开关都可以作为多路分解器，连接多个信号中的一个到单个测试端口，而不是将单个信号发送到多个测试端口中。

这种多路复用开关的带宽固有地受到它连接到公共线路的继电器数量和连接到继电器的轨道长度的限制。对于使用机械继电器的设计，主要限制是电容负载，而对于固态设计，则可以是继电器。这两种缺陷往往会使路径负载有过大的电容，而且传输线对长连接的影响会把路径处的开路连接转变为四分之一波长点处的短路连接，导致频率具有非常高的插入损耗。

除了带宽限制之外，这种方法具有很高的成本效益，并且产生最低的直流路径电阻，因为只有一个继电器必须关闭才能连接信号。该体系结构还允许多条路径连接到公共端（取决于驱动程序施加的限制）。

确保多路复用开关在连接之前必须执行断开的操作，这取决于驱动程序的命令，这需要对多路复用进行两次设置操作。

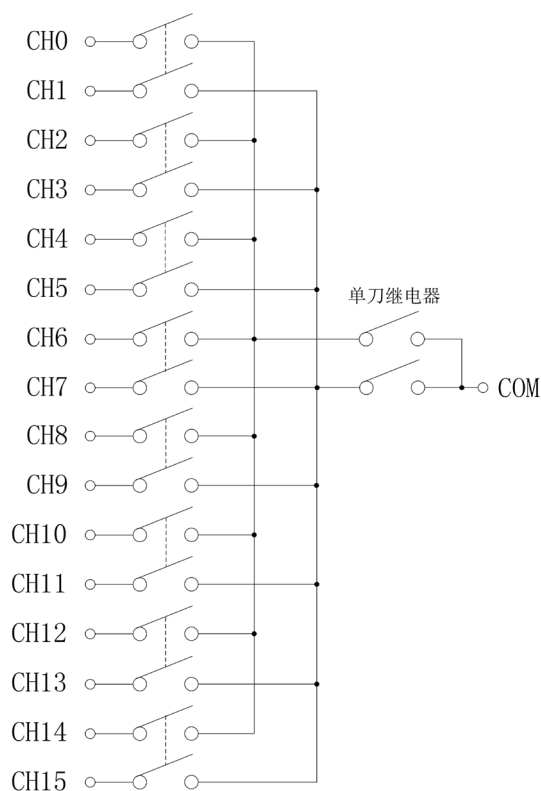


图 2-3-2 16 通道双刀传统多路复用开关

常规多路复用开关由一个变化是极点开关组成,但它可以利用两个极点继电器从两个极点继电器的最小数量增加多路复用的规模。如图所示的 32 通道多路复用开关,继电器提供 32 个输出连接,单刀继电器任意选择哪个极点连接到公共端。这是一种高效成本的设计方法,用户不需要将多个输出连接在一起。带宽和其他因素的问题单刀的多路复用开关相同。

2.3.2.2 树状多路复用开关

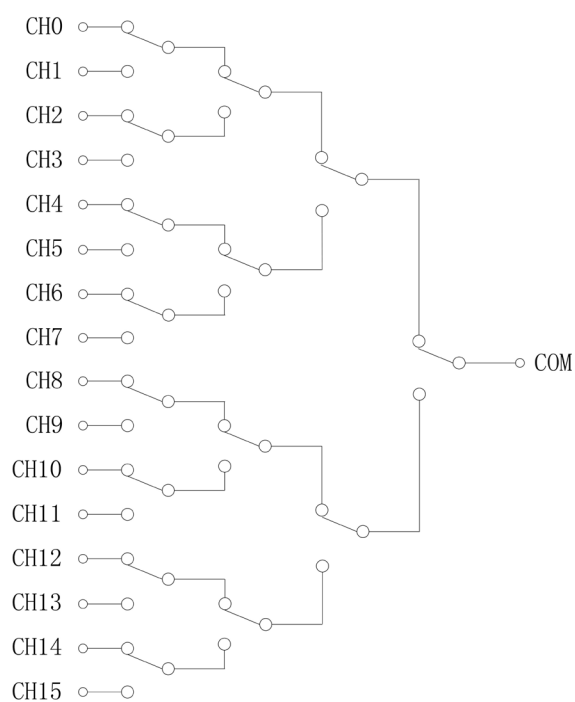


图 2-3-3 16 通道单刀双掷树状多路复用开关

树状多路复用开关使用单刀双掷继电器将公共端连接到一组输出（或输入）。该信号使用树状多路复用开关进行切换，以扩展支持的输出连接数。由于继电器的两个路径会有一个被选择为关闭，所以只允许选择一个连接路径，因此不可能无意中把输出连接在一起。

该路径使用多个继电器串联，因此通过路径的直流电阻比传统的多路复用开关高。树状多路复用开关中所需的继电器数量高于传统多路复用开关。除非添加额外的继电器，否则树状多路复用开关的公共输出和输出之间总是有一个默认路径。并且，树状多路复用开关的带宽是相当高的，因为这些路径没有开路轨迹，也没有其他继电器连接到它们上，从而产生传输线存根，所以它们有继电器所能提供最好的带宽。

树状多路复用开关经常被用作射频矩阵的一部分，以提供宽的射频带宽。在任何点上都没有多余的轨迹连接到射频路径，从而使多余的电容最小化。第二种用途是在电力系统中，即使在继电器内部触点被焊接的情况下，输入只会连接到一个输出。

2.3.2.3 对比总结

传统的多路复用开关用于低频应用，因为就路径电阻而言，它提供最低的成本和最佳的性能。当带宽是关键因素，超出了传统多路复用的能力，或者为了避免多个点闭合，不能允许多个输入输出连接在一起，则使用树状多路复用开关。

3 PXI 开关模块电源选择

本章主要介绍 PXI 开关模块电源的选择，主要包括 PXI 背板电源的考虑、PXI 开关模块电流容量和 PXI 开关模块功耗，为用户在使用 PXI 开关模块过程中提供相关参考。

3.1 PXI 背板电源考虑

与所有模块化标准一样，PXI 标准规定了集中式电源的使用。该规范要求有+12V、+5V、+3.3V 和-12V 电源（PXIe 插槽没有-12V 和+5V 电源，它们有 12V 和 3.3V 电源）。正如我们将在本文中看到的那样，该标准并不能保证在特定的机箱中不受限制地支持 PXI 模块。

该标准没有明确定义噪声或纹波性能，因此在很大程度上取决于模块供应商是否检查其模块与典型 PXI 背板电源的兼容性。在变化的负载条件下，电源的动态行为也不受控制，因此模块供应商需要确保高动态负载的模块不会在典型的背板中引起不必要的错误。在实践中，缺乏明确的规范并没有在模块开发中造成重大问题，与控制更严格的标准（如 VXI）相比，轻量级的方法简化了模块供应商的测试需求，也降低了 PXI 的设计成本。

有时还会遇到一个更重要的问题，那就是电源额定值。PXI 标准的每个版本都指定了最小的电源容量，而早期版本的标准（供应商仍然可以构建该标准）对最低供电容量的要求通常较低。PXI 硬件标准的当前版本（与 PXIe 不同）如下：

表 3-1-1: PXI 硬件标准当前版本

	系统槽	外围槽	系统槽	外围槽	系统槽	外围槽
电压	+5V	+5V	+3.3V	+3.3V	+12V	-12V
电流	6A	2A	6A	2A	0.5A	0.25A

因此，在 5V 和 3.3V 时，PXI 电源应能同时向系统插槽提供 6A 电源和向每个外围插槽供电 2A，并能同时为+12V 和-12V 的每个插槽（包括系统插槽）提供 0.5A 和 0.25A 电源。对于具有给定槽数的背板，可以计算出符合该标准的电源的最小规格。

外围模块允许在+5V 和+3.3V 电源上采用 6A，在+12V 和-12V 电源上采用 1A。一个对特定轨道有高电流需求的模块在背板的许多位置使用，如果它只满足最低要求，显然会使背板过载。模块电流在每一种情况下受到背板连接器引脚额定电流的限制，对于 1A，在+12V 和-12V 供电的情况下，只有一个引脚为模块提供电源。在+5V 和+3.3V 电源的情况下，多个引脚为模块提供电源，允许更高的电流。

PXI 标准并没有试图指定一个背板应该支持的应用程序，所有的插槽都填满了模块，以最大允许的电流供应，这种情况是没必要的，不符合用户的利益。

在大多数开关应用程序（但不是所有）中，继电器都是从+5V 电源供电的，因此通常是背板电源上负载最大。闭合的继电器越多，背板上的负载就越高。

某些类型的开关使用+12V 电源操作的，比如使用汽车或微波继电器。一般来说，如果用户关心的是电源负载，那么+5V 和+12V 的电源通常是最关心的。

在大多数情况下，PXI 系统不会遇到电源负载问题，因为：

- 模块未在最大负载条件下使用
- 可能会有空位
- 背板支持的往往超过最低供电要求

在动力来自背板的系统中，背板的过度负荷更有可能发生，例如为测试系统提供电源。

3.2 PXI 开关模块功耗

PXI 标准要求背板通过强制风冷的方式能够支持每个槽位 25W 的功耗，要求空气从底部进入模块，然后从顶部抽出。PXI 规范还要求 PXI 背板能够支持 6A 到+5V 电源上的任何一个外围插槽——开关操作最常用的电源。对于大电流和一些高密度应用，这种功率限制会影响可以关闭的继电器的最大数量或模块中允许的最大功率损耗。

平均每个卡槽的热限值为 25W，可以在不同时间条件下超过此热限值，但不应超过模块的热时间常数的几倍（根据工作情况，通常测量在 2 分钟至 30 分钟之间）。电源热限值可以是一个平均值，但有一个更高的风险，如果过多的插槽使用大电流，则电源将关闭。PXI 标准要求背板能够为+5V 电源上的外围插槽提供平均大于 2A 的电源。

3.2.1 主要热源

PXI 开关模块的功耗有三个主要热源：

（1）静态功率负载

静态功率负载由模块的一般基础结构组成。它包括 PCI 接口和操作继电器的驱动程序。PCI 接口负载通常较低，接口和继电器驱动程序可以从 5V 电源、3.3V 电源或两者中提取电流。

（2）继电器线圈电流

每个被通电的继电器都需要线圈电流来操作它，当继电器关闭的数量增加时，他们耗散的功率和模块中的电流负载增加。簧片继电器往往是低功率的，通常是每个线圈 15mA 左右，而 EMR 就有很大区别，通常基于 EMR 的模块，会给电源造成更大的损耗。

（3）开关路径损耗

这通常被用户忽略，但它可能是模块中最重要的热源。例如，额定电流为 2A，路径电阻为 0.15 欧姆的 SPST 开关阵列在满载时每个路径上耗散 600 毫瓦。加热将倾向于增加模块中的铜电阻（0.039%/C），进一步增加功耗。160 针连接器可以在单个模块中支持 80 个 SPST 关闭开关，因此所有这些路径携带 2A 是不可取的操作条件。庆幸的是，它是一个非常不可能的操作条件。

3.2.2 PXI 模块功耗的评估

1、在大多数情况下，模块的静态负载可以被认为是恒定的和相对较低的，以简化对可能的热损失的任何计算，但在大型矩阵中并不总是这样，因为在这种系统中，有比封闭继电器更多的开路继电器。

2、继电器线圈负载可以根据厂家的线圈功率数据进行计算。

3、信号功率损耗可以根据典型的路径电阻和各路径中的电流来计算。由于这可能因不同路径的不同而有所不同，可能需要进行一些简化，通常只有承载额定电流的 33% 以上的路径贡献显著（路径损耗取决于电流的平方，因此一条承载 33% 电流的路径在满载时产生的功率约为其功率的十分之一）。

3.2.3 PXI 模块其他功耗

（1）+12V 继电器

有些产品使用+12V 线圈的继电器，通常为汽车继电器或微波继电器。背板上的+12V 供电能力比+5V 供电更有限，所以+12V 继电器在供电电流上可能是一个问题。微波继电器通常很大，占据多个槽，所以尽管它们的电流可能很高，但用户不太可能希望遇到电源限制。

汽车继电器也存在同样的情况，它们的密度不够高，导致电源负载过大。

（2）变速风扇

一些背板装有变速风扇，风扇可以设置为自动控制。这在可能需要关注风扇噪音的应用中特别有吸引力，例如在办公室环境中。

在背板热负荷总是很低的情况下，使用自动模式会导致风扇低速运行。然而，自动模式可能会导致一些问题，当背板有一个高度可变的热负荷，或如果负荷在模块之间变化相当大。以下是自动设置可能导致问题的两种情况：

1、当背板被使用时，一个或两个具有高热负荷的模块可能不会产生足够的温升来迫使风扇高速设定，因此这些高热负荷模块只会被低气流冷却，并且可能比它们的设计更热。

2、如果背板有一个时间变量可以非常大的热负荷，那么当热负荷突然增加时，模块的升温速度可能比背板温度快得多，在某些情况下，在背板通过提高风扇速度来响应之前过热。

对于期望支持高热负荷模块的背板，有时建议手动设置风扇转速，而不是依赖于自动模式。

4 继电器

本章主要介绍继电器，主要包括继电器的类型、继电器的额定参数、继电器的冷/热切换、继电器的最小开关容量、继电器的热电动势、继电器寿命试验和继电器的故障，为用户在使用 PXI 开关模块过程中提供相关参考。

4.1 继电器的类型

继电器分为机电继电器、固态继电器、场效应晶体管开关三大类。

4.1.1 机电继电器

机电继电器是通用应用中最常见的机械开关形式。用于创建这些继电器的制造过程为许多开关应用程序提供了一种成本效益高的解决方案，但用户需要意识到此类继电器的限制，就像其他继电器技术一样。

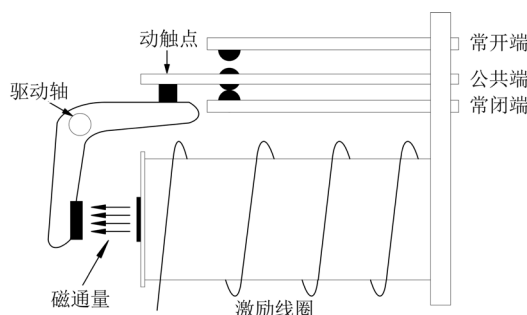


图 4-1-1 机电继电器的结构

机电继电器由推杆操作移动触点，推杆又由两个位置之间的磁路移动。磁路可能只是一个线圈，也可能是一个线圈和一个磁铁。即使不包括磁铁，磁路也可能产生由材料中的铁或镍含量引起的非预期磁铁。

触头使用贵金属，为预期的应用提供可靠的接触电阻。不同的金属具有不同的性能，例如金具有良好的低信号特性，但相对较软，因此无论是机械磨损还是热开关腐蚀都会使触头腐蚀得更快。

机电继电器是很少密封的，他们经常是在塑料外壳提供一定程度的密封，例如树脂密封材料。塑料本身可以排出气体污染物，影响继电器接点随着时间的推移，这一影响可以通过使用擦拭作用接触关闭最小化。

由于良好的技术原因，有些机电继电器根本没有密封外壳。当产生高功率接触电弧时，在密封的外壳中很难熄灭的等离子体形式，使接触区域打开，使等离子体能够更快地分散，而不会在继电器中捕获蒸气。在某些情况下，继电器可能是明显开放的框架，在另一些情况下，它可能有一个塑料外壳，半密封继电器的清洁过程中，在组装过程中，然后有一个“尖头”被打破，以揭示一个孔，允许自由流动的空气。

机电继电器的类型有三大类：分为电磁继电器、转换开关、簧片继电器。

4.1.1.1 电磁继电器

电磁继电器由线圈、电磁机构和触点组成。当线圈通电时，感应磁场移动电磁。这个动作打开或关闭触点。如果开关模块使用电磁继电器，请考虑影响继电器寿命的因素。

电磁继电器有两种类型，闭锁式和非闭锁式。

非闭锁继电器的初始位置为常闭。当没有电流流动时，这个位置由弹簧或永久磁铁的力保持。当电流流过线圈时，常开触点由磁场的力保持。当电流停止时，继电器恢复到其初始

位置。当开关在断电时必须返回到已知状态时，非闭锁电磁继电器在控制应用中很有用。下图显示了非闭锁继电器的示例。

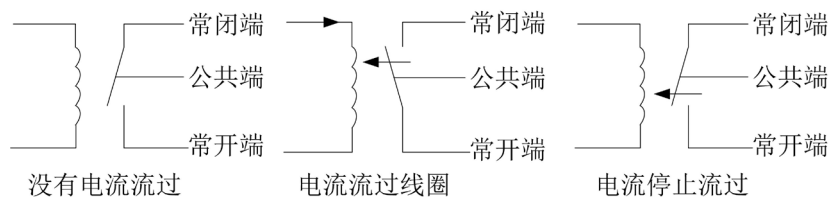


图 4-1-2 非闭锁继电器

闭锁继电器可以有一个或两个线圈。闭锁继电器没有默认位置，当驱动电流停止流动时，保持在最后位置。虽然继电器本身可能是闭锁的，但它们在模块中的复位位置是基于控制电路和软件的（在初始化和复位期间，开关复位所有模块上的所有继电器）。闭锁继电器在必须限制功耗和损耗的应用中非常有用，因为一旦启动，继电器不需要电流来保持其位置。在单线圈闭锁中，电流的方向决定了继电器触点的位置。在双线圈闭锁中，电流流经的线圈决定电磁的位置。下图显示了一个单线圈闭锁继电器。

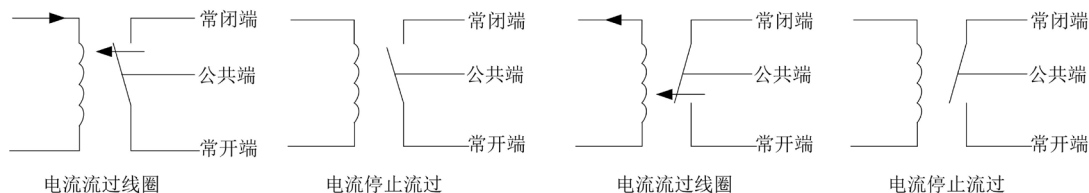


图 4-1-3 闭锁继电器

4.1.1.2 转换开关

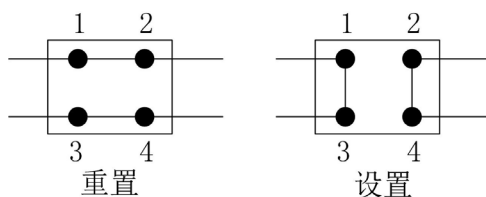


图 4-1-4 转换开关

转换开关通常只在微波开关系统中使用。它们是具有两个输入和两个输出的四个终端设备，其中一个输入可以连接到其中一个输出，然后第二个输入连接到其他输出。当在微波继电器中实现时，可以是默认的“所有打开”位置，其中没有建立任何连接。

4.1.1.3 簧片继电器

簧片继电器是一种机电继电器，由缠绕在簧片开关上的线圈组成。簧片开关有两个重叠的铁磁叶片，密封在一个充满惰性气体的玻璃容器中。当线圈通电时，两个簧片相互物理接触，形成一条通过继电器的路径。当线圈断电时，簧片中的弹簧力将簧片拉开。下图代表一个开路簧片继电器和闭合簧片继电器。

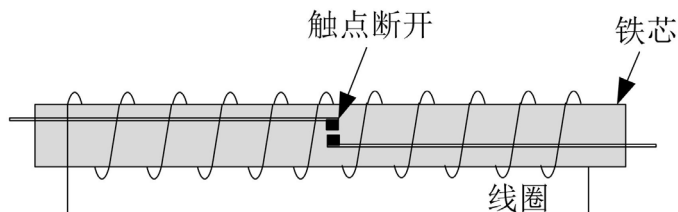


图 4-1-5 开路簧片继电器

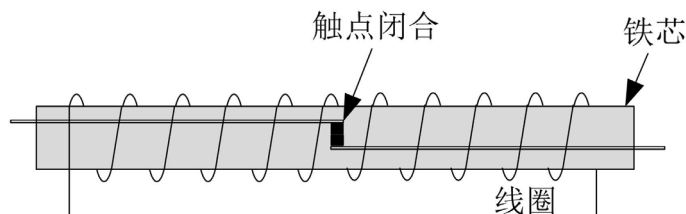


图 4-1-6 闭合簧片继电器

簧片继电器通常较小，因此比电磁继电器中的电磁动作快得多。然而，簧片继电器比电磁继电器中的电磁更容易受到电弧的损坏。当火花跳过触点时，会熔化一小部分簧片。如果在熔化部分重新凝固时触点仍然闭合，触点可能会焊接在一起。簧片继电器中的弹簧力通常不足以机械地破坏焊缝。当使用带有簧片继电器的开关模块时，考虑切换容性负载以保护簧片继电器的影响。

4.1.2 固态继电器

固态继电器结合了一个发光二极管来控制光敏金属氧化物半导体场效应晶体管的栅极。这种继电器结构在控制电路和负载之间提供了隔离屏障，允许继电器切换高电压。大约需要 1 毫秒（取决于继电器）才能打开指示灯，0.5 毫秒才能关闭指示灯。这些时间限制了继电器的开关速度，然而固态继电器比机电继电器更快。下图显示了典型固态继电器的示意图。数字控制信号为发光二极管供电，发光二极管开启和关闭场效应晶体管电路。要求发光二极管将驱动电路与 DUT 信号隔离。

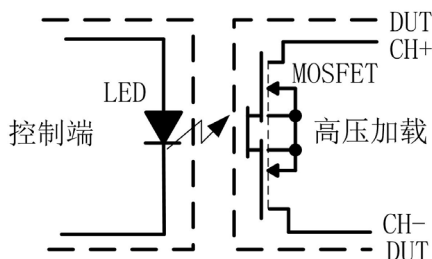


图 4-1-7 固态继电器

4.1.3 场效应晶体管开关

场效应晶体管开关由几个互补金属氧化物半导体晶体管组成。电压被施加到控制电路，该控制电路连接晶体管网络（负载电路）的源极和漏极，如下图所示。

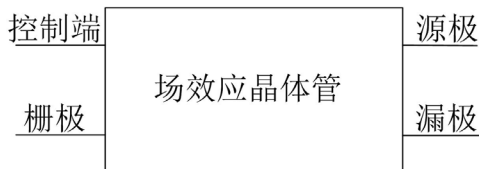


图 4-1-8 场效应晶体管

控制电路和信号路径之间没有额外的隔离，如下图所示。这种隔离的缺乏将操作限制在低电压，但它允许非常快的开关速度。

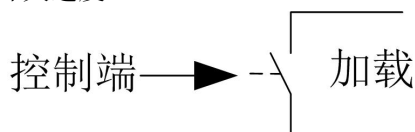


图 4-1-9 内部控制图

4.2 继电器的额定参数

继电器的额定参数通常显示为一张数据表，其中简单地罗列了各项参数的数值。但是这张表经常会被错误理解，在使用时，超过额定参数会严重缩短继电器的使用寿命。以下介绍了继电器的各项额定参数，为用户在使用 PXI 开关模块过程中提供相关参考。

4.2.1 机械寿命

继电器是由运动零部件组成的，使用时会产生应力和磨损，最终会导致继电器失效。机械寿命提供了由这些机械过程引起的第一次故障的信息。其本质上是描述在无负载或轻负载条件下继电器可以承受的动作次数。而触点磨损，继电器温度和作用在活动部件上的力仅仅是机械运动的结果。

一般来讲，簧片继电器的机械寿命是最长的，原因是这种继电器内部的运动部件非常少（触点簧片会弯曲而不会在一个枢轴点上移动），并且触点被密封在玻璃管内，这就减少了污染物和机械缺陷的影响。

电磁继电器的机械寿命较短，但信号负载能力较强。

4.2.2 额定电压

额定电压指的是在继电器触点导通/断开状态下，触点上允许承载的最大电压值。在高压下操作继电器，会引起电弧，进而腐蚀触点，最终会降低触点的接触性能。

需要注意的是，在开关系统中，额定电压可能会受到其他一些因素的限制，比如 PCB 板或连接器上的线路间距。还需要考虑到，当正、负电压同时存在时，额定电压等于这两个电压的差值。同样的情况还包括，三相电源切换时，电压的差值大于每相分别的电压值。

更重要的一点是，在开关系统中，系统的额定电压可能小于继电器的额定电压，因为规定继电器的额定参数时通常是定义在电阻性负载基础上的。继电器系统通常自身具有电容（主要为线路上的电容），这会降低继电器所能承载的电压（或功率）。

4.2.3 冷切换额定电压

如果不对继电器进行操作，继电器的触点上可以承载比额定电压更高的电压。具有高隔离电压的继电器可以用于绝缘测试，但是用户在进行操作时，绝不能在施加电压的同时切换继电器开关，因为这会导致电压超过触点的额定电压。

当一个开关系统规定了一个冷切换额定电压时，PCB 板的线路间隔就会相应地设计为冷切换下的额定值。一些用户也将冷切换额定电压称为安全电压（StandOff Voltage）。

4.2.4 最小切换电压

有些类型的继电器必须加载一个最小电压来进行可靠的开关动作，尤其是在经常会发生触点磨损从而暴露出底部材料的热切换当中。由于簧片继电器的触点被密封在玻璃管内，从而避免了污染物积聚形成膜，因此簧片继电器对于低电压开关特别适用。基于使用了金属材质的触点，一些设计用于通信应用的继电器也具有良好的最小电压额定值。一旦用作保护的镀金因热切换或者由于自身高压接触造成的机械磨损而腐蚀，这些高功率继电器通常就会需要相当高的最小电压。

在具有较高电容的继电器中，这种情况也常见于触点处于闭合状态下的时变电阻（电阻值随时间减小）。

4.2.5 切换电流

当一个继电器进行热切换时，在切换状态下（开/关时）可以承载的最大额定电流被称为切换电流。

4.2.6 负载电流

当继电器闭合后，就可能可以承载比开关电流更大的电流。由于会导致接触面上热量积聚，负载电流通常受到诸如接触电阻的限制。当继电器上的负载电流大于开关电流时，在电流强度降低之前绝不可以断开（或闭合）继电器。

4.2.7 脉冲负载电流

有一些产品列出了脉冲负载电流额定值。在冷切换开关系统的应用中，一旦触点闭合，一个脉冲电流就会加热继电器的触点，与热切换方式不同的是，不会因此产生电弧。

继电器的触点具有足够的热量，因而这个脉冲电流不会导致触点过热从而损坏触点。脉冲电流可能是单个事件也可能会重复出现，如果重复出现，则需要当心确保避免热效应产生过热问题。一个典型的额定电流为 2A 的电磁继电器（EMR），如果通 6A 的电流可能可以维持工作 200 μ s。还需要记住，热效应与电流的平方成正比（假设接触电阻是恒定的）。

4.2.8 额定功率

一些用户会忽视额定功率的问题，而事实上额定功率对于继电器寿命是起到主要影响的因素。比如一个继电器的额定电压为 250V，额定电流为 2A，如果用它来切换具有最大允许电压和电流的信号（在这个例子中功率为 500W），那么这个继电器的寿命是不太可能长的。继电器供应商会指定一个最大功率（比如 60W），那么在这个例子中，假如继电器在闭合时的负载电流为 2A，那么在闭合前的电压必须小于 30V。这就导致继电器具有复杂的可用工作区，切换开关前的电压越高，继电器的最大切换电流越小。应当注意的是，由于继电器的开关动作会产生电弧进而产生等离子体，这很容易损坏触点和继电器材料，因此在高直流电压下，继电器可以承受的功率通常会降低。这就使得额定曲线不会像功率限制曲线那样简单，当直流电压切换到 30V 以上时，用户应该要时常核查数据表中的负载曲线。

同样地，电弧会导致继电器内部温度升高，因此在高负载下频繁操作继电器会缩短继电器的寿命。

谈到额定功率往往意味着继电器是热切换的。直流负载和交流负载下的额定功率通常是不同的。

对于电磁继电器（EMR）来说，假定最大额定功率对应最大直流电压，这种做法是不安全的。用户应当经常参考所提供的负载曲线图来获取进一步的指导。典型的 EMR 在高电压下具有较低的功率，确定各项条件是否符合规则的最安心的办法就是认真查看所提供的负载数据。

对于设计用于快速开关操作的固态继电器（SSR）来说，很少需要考虑额定功率的问题，因为它们通常可以同时承载高电压和高电流并且不会受损。快速开关的时间保证了在状态转换期间的低耗散并且不会产生电弧。

4.2.9 吸合时间

吸合时间是一个会让用户感到困惑的概念。在开关系统中，吸合时间指的是软件执行一个驱动指令所用的时间加上继电器开始动作到完成动作所用的时间和。在有些开关系统中，为了确保在继电器操作前没有意外发生，要完成一次状态切换可能需要操作多次。

4.3 继电器的冷/热切换

4.3.1 冷切换

冷切换是一个术语，用来描述一个开关（继电器）操作，当继电器触点打开或关闭时，没有重要的用户信号。与热开关相比，冷开关对机械继电器的压力要小得多，可以用来最大限度地延长继电器的寿命。对于固态继电器，冷热开关额定值通常没有差别。

冷开关具有与热开关的电压额定值和电流额定值不同，因为机械继电器接触器不处理信号弧和金属迁移。冷开关电压额定值主要取决于继电器、连接器和 PCB 布局中绝缘子的性能。冷开关电流额定值取决于继电器、连接器和 PCB 轨道中的金属导体。

在某些设计中，如果所应用的电压具有较高的电压上升速率，并将其耦合到继电控制系统中，则存在大而快速的电压变化会对继电控制系统造成干扰。例如，在冷开关额定开关系统外使用机械继电器可以产生很高的电压变化率（每微秒 1000 伏特），通过信号通路传播并耦合到控制系统。因此，在使用冷开关额定值时，建议调整电压上升时间以避免这些电压瞬变。

固态开关可用于调整开关系统电压的上升速度，其热开关瞬变比机械继电器产生的热开关瞬变小，且无反弹。

许多电压源使用软启动（或旋转速率有限），以避免大电流涌进电容器，这一启动过程足以保护开关系统。

4.3.2 热切换

4.3.2.1 热切换降低继电器寿命

当一个继电器打开或关闭时，携带一个信号，我们说继电器是“热切换”的信号。热开关继电器对继电器的寿命有很大的影响。继电器的热开关信号运行比继电器冷开关运行热，他们的接触将侵蚀得更快。这两种因素都会导致热开关信号的继电器比冷开关继电器更快地失效。开关系统供应商可能提供关于热切换如何影响中继寿命的信息，但在使用此数据之前，请仔细查看测试条件。一般来说，供应商的寿命测试继电器有电阻源和负载。然而，在现实世界中，负载既可以是感性的，也可以是电容性的，这些负载比简单的电阻负载更能缩短继电器的寿命。

4.3.2.2 容性负载

继电器热开关的电压或电流并不总是很明显。例如，如果一个继电器连接一个低阻抗源到一个高阻抗负载，你会期望开关电流相对较低。但是，如果电缆或负载具有很大的寄生电容，则当继电器关闭时，可能会有高的浪涌电流，因为源对电容器充电。

当继电器将源连接到从先前状态携带电荷的电容负载时，它也可能有高浪涌电流。例如，当切换系统反转被测设备上的极性时，或者当先前的操作在高阻抗负载上留下电荷时，就可能发生这种情况。因此，一些电缆测试系统提供了一种在启动继电器之前释放电缆组件上的任何剩余电荷的方法。如前所述，当模块连接到电阻负载时，开关模块的规范通常只定义最大热开关电压/电流/功率。因此，应该注意的是，如果长电缆或其他电容负荷被附加，额定值可能会受到影响。

开关系统在其终端通常也是电容性的。如果一个开关矩阵在一个 Y 轴到 X 连接上有大量的闭合，电容会产生额外的负载，在热切换时可以缩短继电器的寿命。

电缆布线和 PCB 线路的电阻可以帮助减少浪涌电流，从而增加继电器寿命，但这种影响随着信号电压的增加而迅速下降。

4.3.2.3 热开关电源

一个潜在的危险情况是将电源切换到负载上。负载通常有去耦电容器，电源突然连接会导致大涌流。这种电流不受电源的限流电路的限制，因为它是由电源的输出去耦电容器到负载的输入去耦电容器的电荷开关引起的。

此外，电源上的电流限制器依靠反馈机制来限制电流。电源感知输出电流，当电流达到阈值时开始降低输出电压。这个动作需要有限的时间，这意味着电源的限流电路不能保护热开关电流的继电器。只有电阻才会限制电流，这是测试继电器热开关容量时使用的测试条件。有些继电器能承受高涌流。这些继电器的触点在关闭时有很大的擦拭作用，触点由能够承受高温的材料制成。用于处理高涌流的继电器比专为小信号应用而设计的继电器具有更高的接触电阻随电流的变化（电阻随电流的增加而减小）。

4.3.2.4 失效机制

用于热开关继电器最常见的故障机制是：

（1）焊接触点

焊接触点通常是由高涌流引起的，因为触点是封闭的，在接触区域产生熔融或软金属。

（2）具有可变或间歇接触电阻的触头。

由于接触材料的腐蚀，这种情况尤其发生在低电流水平上。

（3）没能关闭。

这种失效是由于触点的严重腐蚀和触点上堆积的碎屑造成的。（就触点上的碎片而言，这更像是机电继电器的问题，因为它们的触点暴露在空气中，因为簧片继电器有密封的触点。）

（4）电弧故障

当继电器切换信号（特别是高功率信号）时，触点之间可能形成电弧，甚至是多个电弧。这些电弧增加了接触腐蚀发生的时间，尤其是当载荷是感应载荷时。继电器打开，当电感中的电场放电时，电感产生一个高电压尖峰。机械继电器的电流额定值随着触点电压的增加而降低，当有感应负载时，必须进一步降低。

固态继电器的电流额定值没比机械继电器高得多，但是感应负荷仍然可以通过产生超过继电器输出晶体管击穿电压的电压尖峰而导致故障。固态继电器的数据表可以包括热开关时允许的最大开关能量，通常以毫焦耳（mJ）表示。存储在感应负载中的能量可由 $0.5 \cdot L \cdot I^2$ 计算，其中 L 是电感， I 是所携带的电流。

（5）频繁开合

在短时间内频繁运行功率继电器会引起额外的问题，因为产生的电弧不仅会腐蚀触点，而且会增加继电器的温度。电弧产生的频率越高，发生的腐蚀越多，继电器就越热。较高的温度会损坏继电器中的机械部件，特别是保持触点位置的塑料部件。

（6）热开关射频信号

当热切换射频信号时，可能会出现一个稍微不同的问题。如果源电压驻波比较高（即源阻抗不为 50Ω ），则打开位置的继电器在关闭前可能具有非常高的电压，或在继电器打开时可能产生高电压。插入损耗将通过衰减反射信号来降低最大电压，但电压仍然很高，可能会造成损坏。

由于工作条件对射频信号的热开关条件有很大的影响，除非另有说明，否则热开关功率通常是用低源驻波比指定的。如果继电器在恶劣的电压源/负载下运行，热开关性能会下降，其退化程度与条件密切相关。高射频功率的最常见原因是源是发射机（或放大器），通常具有高输出驻波比以防止输出源阻抗中的功率损失。

（6）其他应用考虑

在设计切换系统时，还必须考虑其他几个因素，热开关信号。例如，热开关继电器可以在开关系统中产生共振波形。电流的突然增加和电压电平的变化会激发出在开关系统的轨迹

和外部连接中产生的谐振电路，因为关闭事件可能是非常突然的。

另外要注意的是，机械继电器的交流功率额定值高于直流功率等级。其原因是当开关直流信号时，继电器触点之间的金属传递趋向于一个方向，所以触点腐蚀得更快。当开关交流信号时，金属在两个方向上都发生转移，电弧的持续时间较短。这两种效果都延长了继电器的寿命。

当处理交流电源产生的交流信号时，反应元件（电感和电容器）可能会出现问題，从而降低继电器的热开关容量。交流供电系统通常有许多无功部件（过滤器、变压器），这可能造成问題。当信号中断时，感应源或负载会产生长时间的电弧，而电容负载会在路径闭合时产生高涌流。

4.3.3 结论

虽然在大多数情况下最好是“冷切换”一个信号，但这并不总是可能的。通过记住上面给出的一些建议，您可以成功地使用热开关信号，并充分利用您的切换系统。

4.4 继电器的最小开关容量

机电继电器通常具有最小的开关容量。最小容量问題通常仅限于没有密封和没有金属（或类似贵金属）触点的继电器。由于簧片继电器在触点周围有密封密封，所以除了非常高的容量类型外，最小容量并不是通常在簧片继电器上看到的问题。

继电器触点一般是通过选择使用贵金属制成的。这些金属具有不同的特性。黄金通常被认为是一种软金属，适合低水平转换，不会随着时间而褪色。它是软的，所以当两个触点结合在一起时，它们在所有信号条件下都会产生良好的电接触。接触是辅助的，确保他们“擦拭”接触时，他们关闭，推动任何表面材料远离接触区域。然而，在较高的信号水平下，发生焊接或接触腐蚀的风险增加。因此，虽然黄金通常是低水平信号的良好接触材料，但对于较高的热开关水平，它是一种较差的材料。

对于低于该信号的电平，接触电阻可能更高，在某些情况下甚至是开路。如果继电器是在一个良性的环境中使用，并没有遭受严重的接触侵蚀，它可能能够处理低电平信号很长时间，没有任何问题。如果要将继电器用于高信号和低信号电平，则可能必须用复合继电器以不同的方式处理信号，以确保良好的操作，

冷开关大容量继电器可能导致继电器具有高于预期的接触电阻，而接触电阻随时间而变化（通常随时间而下降）。继电器供应商的规格往往是一个非常大的简化效果和低水平的标志电阻的变化是不同的，他们声称的规格和比最初更复杂得多，往往他们的数据表载有这种效果的说明。有些供应商没有描述。

4.5 继电器的热电动势

热电压是由继电器产生的，因为它们含有不同的金属材料，如果这些材料处于不同的温度，它们表现为热电偶，产生的电压取决于这些温差。

4.5.1 机电继电器

在使用机电继电器的开关系统中，所使用的继电器通常会引入热电电压，在大多数应用中，它们可以被忽略，但对于某些继电器来说，它们确实很重要。产生的电压通常有两个因素：

- （1）继电器中的加热材料线圈

在这种情况下，电压是因为线圈以不同的速率或不同的温度加热继电器的不同部分。如果继电器安装在没有温度分布的 PCB 上（等温条件），则产生的电压最初为零，然后再由继电器及其部件的热时间常数确定一段时间后改变为新的值。可能是一个简单的指数随时间变化的关系，但也可能是相当复杂。

（2）继电器中 PCB 的温度梯度。

在这种情况下，PCB 具有温度分布，因此当继电器关闭时，由于继电器引脚处于不同的温度，因此会立即出现电压。关闭继电器的动作可能会改变温度分布，同样地，时间常数与继电器的热时间常数相似。

PCB 的温度梯度可由若干因素引起，包括气流的变化、PCB 上的热源和散热器和热源（例如背板后面的电源）。由于这些是外部影响，继电器制造商不测试这些条件。因此，使用具有低温差电势的继电器并不能确保在 PCB 具有温度分布的情况下，设计的温差电势较低-由于采用了强制空气冷却，PXI 中的情况尤其如此。继电器制造商使用温差电势测试方法，这种测试方法不反映用户使用继电器的方式，必须使用设计方法为单个继电器产生可重复的测试结果，用户可以在夹具中进行模拟，以得出继电器满足指定性能的结论。

应该注意的是，继电器中的热电源如果是通过注入电流源和测量整个触点的电压（如 DMM 所做的）来测量，则会导致对机械继电器接触电阻的测量有误差。当电流源值较低时，热电势可以改变记录值，使电阻看起来是时间变量，使电阻看起来好像随着电流方向的变化而变化。

在大多数情况下，簧片继电器比电磁继电器的热电电压高，因为在簧片继电器中使用的材料具有很强的热电性能。

4.5.2 固态继电器

固态继电器不会产生较大的热电势，进而开关系统的热电效应降低。

由于热电效应是由温差和用于提供连接的金属的变化所造成的，那么需要最佳热电性能的应用程序应该避免开关系统被放置在具有高热负荷的模块上。例如，通常明智的做法是避免将它们放置在具有高功耗或开关系统的高嵌入式控制器旁边。根据模块放置的背板，热电电压也可能有明显的差异。

4.6 继电器寿命试验

用于切换的数据表引用了继电器可以执行的操作数，但是寿命结束的定义不是一个精确的术语，可以有不同的解释。

4.6.1 正常寿命试验

机械寿命测试通常需要很长的时间。对于簧片继电器来说，比如说每秒一次操作，然后进行 10 亿次操作，这是一件非常罕见的事情，因为三十万小时是一段很长的时间。在大多数系统中，继电器都不是那么频繁地切换，这意味着大多数继电器故障并不是由于机械寿命问题造成的。

对于负载测试，预期寿命要长得多，因此进行测试所需的时间更短。即使如此，它可能是一个很长的时间，如果继电器是有用的测试系统，它必须是预期的情况。

4.6.2 加速寿命试验

我们在开关产品中安装的继电器已经做过寿命测试。通常进行两个主要测试，一个是几乎没有负载的继电器，一个（或更多）是具有最大负载的继电器。

这两种测试一般都是加速寿命试验，继电器在我们允许的范围内以最快的速度工作，并对继电器的接触和断开进行检查。该测试还包括接触电阻（CR）测试，以查看继电器接触电阻在其工作寿命中是如何变化的。

机械寿命可能受到机械零件失效（弹簧、线圈、部分摩擦）或暴露接触贱金属的机械接触磨损的限制，而接触磨损又会导致不稳定的接触电阻。

负载寿命更有可能受到继电器加热和信号电流腐蚀的限制，产生微小的电弧，在开关触点周围移动金属。电弧还会导致触点区域增加其他物质，特别是在非密封继电器（如 EMR）上。加速负荷测试甚至会导致信号电弧加热继电器，并使塑料部件在操作频率较低的情况下软化。

用户操作条件很少模拟这种加速寿命测试，因此它们在应用程序中的寿命可能与数据表声明的数字不同。加速测试也没有显示出其他影响，例如环境对机电继电器接触的污染物积累。污染可能导致出现最小的开关容量或接触电阻的时变行为。电容式负载引起的涌流损伤或感应负载产生的电弧损伤不能通过加速寿命试验复制。

灾难性故障更容易预测，例如，第一次焊接接触的时间或者是第一次关闭接触的失败。

加速寿命测试可以很好地估测预期寿命，但最好是将其作为参考而不是精确的预测。

4.7 继电器的故障

继电器故障的原因有多种，有些是事故，有些是由制造缺陷引起的，还有一些是简单的寿命终止故障。

4.7.1 继电器故障方式

不同的继电器失效的方式不一样。机械继电器，如机电继电器和簧片继电器比固态继电器的寿命短。因为他们在数百万次的动作之后就精疲力竭了。另一方面，固态继电器的寿命更长，因为当继电器打开或关闭时没有机械作用。尽管如此，机电继电器仍然是一个非常受欢迎的选择，因为它们提供较低的路径电阻和更高的工作电压和工作电流。

4.7.2 寿命终止故障

寿命终止故障是最常见的故障类型，但是使用继电器来切换超出其额定规格的电压和电流也会导致它们失效。也有一些故障与继电器运行的时间长短有关（特别是当继电器开关信号电平很低或继电器不经常工作和触点上形成氧化时），但这些情况相对少见。

在设计开关系统时，您需要知道的最重要的事情之一是您的系统将运行多长时间而不会发生故障。就需要知道继电器机械寿命和满载寿命。

机械寿命。这是继电器在低水平开关条件下运行时的寿命，并规定了在没有接触磨损、线圈损坏或驱动机构故障的情况下所能期望的最小操作次数。机电继电器的寿命因继电器结构的不同而变化很大，最长的寿命约为 1 亿次。

满载寿命。这是继电器热切换最大电流、电压或额定功率的负载。当继电器满载运行时，它的触点不能工作（通常是因为它们焊接在一起）或接触材料的腐蚀导致不可接受的高路径电阻时，就被认为是失败的。当要求热切换负载时，继电器可能只适用于 100,000 次操作。另一方面，如果一个信号是冷切换，继电器的寿命才会大大延长，并接近继电器的机械寿命。

在实际的开关系统中，不要指望继电器持续到指定的时间。即使在低电平信号应用中，事故和被测设备故障也会导致继电器故障，热开关电容负载引起的涌流和热开关感应负载引起的电压尖峰，也会加速继电器老化。

4.7.3 万用表查找继电器故障

用户可以使用万用表检查继电器故障，但在大电流继电器上需要谨慎操作。这些继电器通常有一个最小的工作电流/电压。当热开关用于信号时，触点的设计必须考虑到它们的坚固性，因此这就限制了继电器制造商可用的材料选择。如果继电器有一段时间没有使用，或者用于热开关负载，则在低电流/电压下的触点可能出现可变的甚至开路值。万用表通常在测量路径电阻时产生相对较低的输出电压和电流，因此可以返回与预期负载一起使用时电阻的值。DMM 可能测出，当继电器超出实际上符合制造商的规格时，该继电器是有故障的。

4.7.4 更换故障继电器

找到故障继电器后，用户就需要更换它。小心更换继电器避免损坏 PCB 或其他组件。频繁更换贴片继电器会大大增加损坏 PCB 及其周围部件的风险。

5 线缆和连接器配件

本章主要介绍线缆和连接器配件，主要包括连接器配件选择、配件兼容性和正确选择配件，为用户在使用 PXI 开关模块过程中提供相关参考。

5.1 连接器配件选择

一旦选定了项目所需的仪器或开关产品，设计者就需要选择能将各种产品方便地连接起来的一系列连接产品。正确选择连接产品对于设计者来说是一个很重要的问题，需要花费大量时间来检查确保选择的连接器和线缆都是合适的。这项工作投入大量的时间和花费，在某些情况下的花费可能会超过最初购买设备的花费。

5.2 配件兼容性

客户们可以从市场上购买配件产品。然而，有些类型的连接器（比如 200 针 LFH 和 96 针 Micro D）具有多种不同的类型选择，在机械方面可能会不兼容。我们使用的一些连接器/配件（比如 DIN41612 160 针），为了满足 PXI 格式在前面板上的一些限制，可能在某些方面进行了修改。

正常的或密集型的或半 D 型的连接器，只要购买的连接器类型是正确无误的，通常都不会有问题。

5.3 正确选择配件

5.3.1 连接器

方便设计者连接与所选设备的前面板连接器相配合的部件，是要求低购置成本以及有人工可进行接线的系统的理想之选。某些连接器带有背壳以保护连接电线，背壳具有多种出口方向可供选择。通过将线缆束导向连到测试系统的方向，接线会变得更加容易管理，这也会影响开关系统前面板和用于保护测试系统的机架上的任何门之间所需的间隙距离。

5.3.2 线缆组件

一系列一端或两端带有配套连接器的线缆组件。线缆样式也可以在两种之间转换，比如在适用于 PXI 或 PCI 模块前面板上的高密度连接器和 50 针带状线缆之间转换。

5.3.3 接线端子

接线端子采用配套连接器提供接口。使用接线盒可以简化接线操作，接线盒中包括一个有效的线缆夹，以确保连接不受压力。大多数的接线盒都带有一个完全的金属外盒以保护导线和线缆端接。

5.3.4 接线盒

接线盒包含外壳、接线板和接线端子，方便用户将自己的线缆连至模块连接器。模块可以通过线缆组件连接到接线盒。接线盒通常设计用于低于 200V 的应用。对于更高电压的应用，推荐使用基于线缆组件的解决方案。

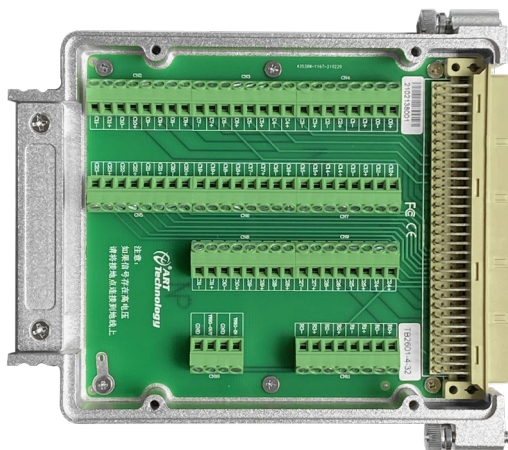


图 5-3-3 接线盒

6 PXI 开关模块的屏蔽

本节描述如何管理出现在开关模块上的屏蔽连接,该模块只支持降低测试系统中噪声的屏蔽。屏蔽的使用是许多工程师争论的话题,使用屏蔽而不是两端都有接地的同轴布置常常(EMC 工程师认为)表明系统存在设计问题。如果在一个大型系统中两个或多个地连接在一起,系统工程师可能会遇到接地回路的问题。本节不提供任何关于这个主题的意见。

6.1 屏蔽组织

屏蔽组织包括屏蔽继电器的配置具有将单独的屏蔽连接到用户连接器上。对于矩阵,这些屏蔽是连接在一起的,但没有连接到地面。对于具有多极或多组的多路复用器,每一组或每一极都有自己的屏蔽,屏蔽由每个用户连接产生。对于一般用途的开关,屏蔽是分开的,并可以在用户连接器上使用。

6.2 屏蔽连接

用户应该以最适合应用程序的方式连接屏蔽。如果用户需要较好的带宽,我们建议屏蔽连接返回到前面板地面,这确保不存在可能影响线路和开关模块的传输线阻抗的不接地屏蔽。

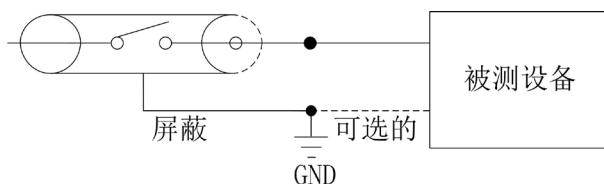


图 6-2-1 单端接地

在某些应用中,特别是在可能存在接地环的情况下,用户可能希望将屏蔽连接到系统中的仪表或被测单元的外部地面。

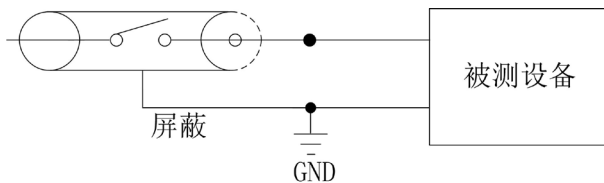


图 6-2-2 两端接地

在需要保留带宽和断开任何低频接地回路的情况下,屏蔽可以被电容耦合到模块前面板接地。电容的电感对电容器提供高频接地的有效性有着至关重要的影响,并可能导致一定频率的谐振。然而,它确实为低频(例如 50、80 或 400 赫兹相关的)提供了一个接地回路“中断”,这是最常见的问题来源。

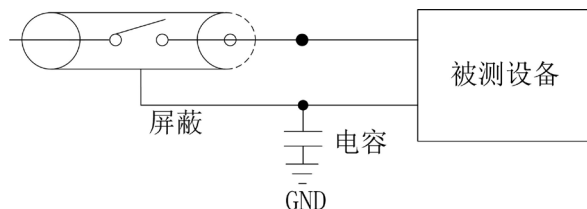


图 6-2-3 电容耦合接地

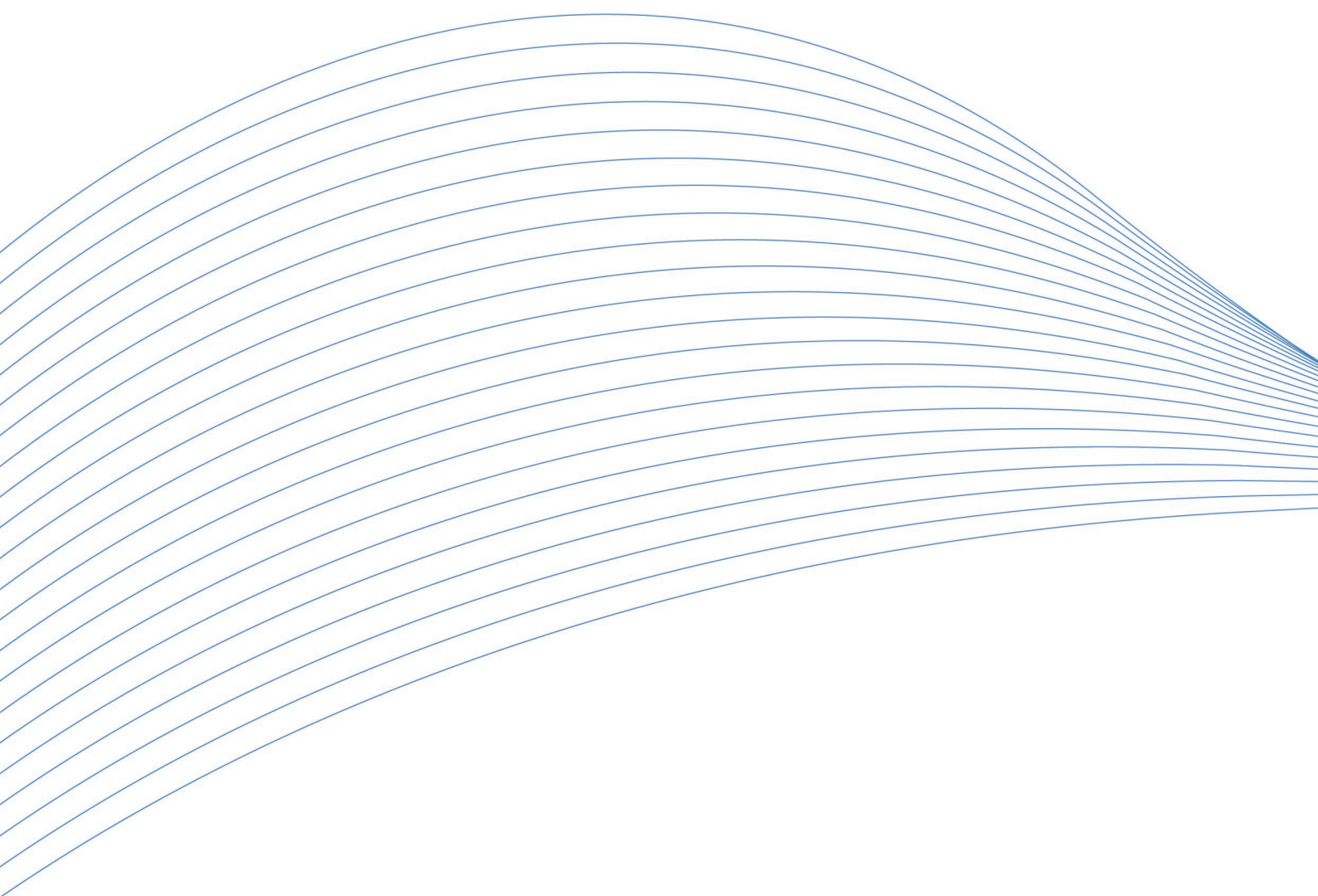
6.3 传输线和屏蔽

用户有时会感到困惑的一个问题是如何区分传输线和屏蔽。

在传输线情况下，“屏蔽”提供定义的传输线阻抗，并且至少在两端连接到射频接地。

屏蔽不提供定义的传输线阻抗，只能在一个位置连接，对于切换模块，屏蔽通常不在模块内接地。因此，屏蔽可以导致谐振结构，并且不接地屏蔽的长度（包括其在切换模块内的扩展）越长，谐振频率就越低。

在一些模块中，用户连接器上提供前面板地面。在其他产品中，用户可以接地到连接器外壳。我们不建议让屏蔽悬空，因为它会降低隔离度和串扰，并且可以产生影响系统频率响应的射频结构。



阿尔泰科技

服务热线：400-860-3335

网址：www.art-control.com