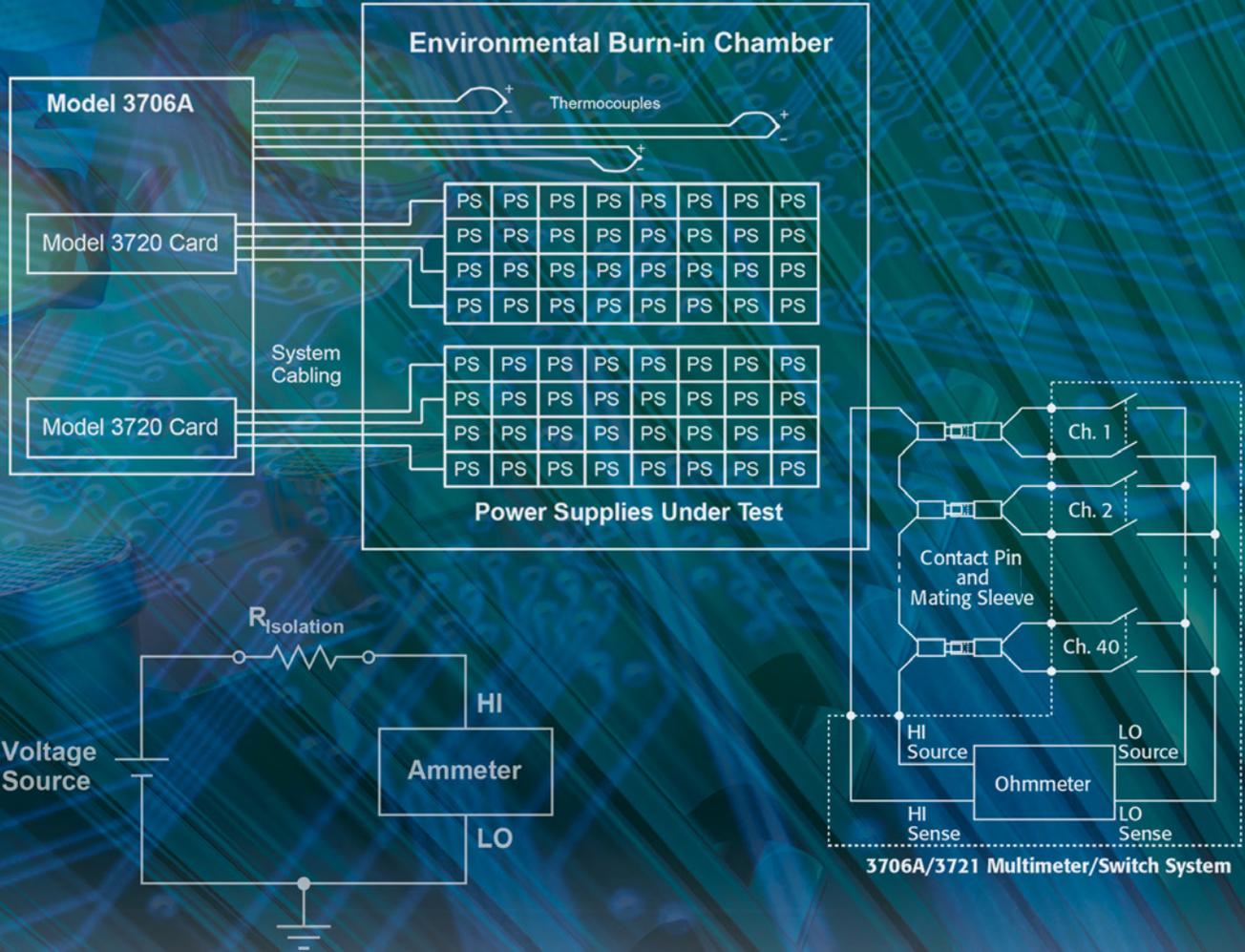




应用指南



多通道测试与数据采集技术

目录

| | |
|---|----|
| 确保温度测试系统的精度和费效比..... | 3 |
| 开关电源老化测试技术..... | 9 |
| 连接器生产测试解决方案..... | 13 |
| 利用3732型高密度矩阵卡进行低电平接触 电阻(LLCR)针脚插槽测试..... | 21 |
| 高可靠性电源测试..... | 35 |

确保温度测试系统的精度和费效比

概述

温度是科学和工业领域最常见的物理量，出于许多原因需要进行温度测量。传感器是温度测量的核心，而且有多种传感器可供选择，重要的是，要为应用选择适当的传感器。此外，所用的温度测量系统必须与应用匹配，并具有最佳费效比。本应用说明将探讨怎样评价可用的不同类型传感器和仪器方案的优点和不足，从而使传感器输出带来精确和可靠地测量。

温度传感器技术

可用传感器技术种类繁多，包括热电偶、电阻温度检测器 (RTD) 及电热调节器，其测量范围、精度等级、价格和易用性相差很大。不过，最佳传感器方案主要取决于应用环境和所需的温度范围。表1给出常见温度传感器类型。

热电偶

热电偶是最常见的温度测量传感器。但是，尽管其广泛使用，但人们对热电偶的了解可能是最少的。同某些温度传感器相比，热电偶容易使用，且工作原理简单。不过，热电偶种类较多，必须特别关注其金属、工作原理、局限性和温度数据处理，以确保一致准确的结果。

同其他类型温度传感器相比，热电偶的优点是：

- 主流热电偶相对便宜，但保护护套、电缆和连接器可能增加一定费用。
- 从机械角度看，热电偶简单、耐用、可靠。热电偶中使用的典型金属属性提供可预测的输出电压。这使得用户可以将热电偶用于多种应用，包括反应性环境或严酷环境。
- 主流热电偶的物理结构简单——将所需要素与适当的合金线扭在一起。商用热电偶则通过熔接、压接或焊接组装而成。无论哪种方法，其结果都是一样的。
- 热电偶采用多种封装技术，适合诸多不同的应用。
- 热电偶具有宽泛的温度测量范围： $-100^{\circ}\text{C}\sim 2500^{\circ}\text{C}$ 。
- 热电偶精度通常是 $\pm 1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，对于大多数应用而言，这个精度绰绰有余。

尽管热电偶也有不足，而且这些不足严重影响着其使用和读取所需的硬件。热电偶输出是微伏每度，而且有时候热电偶与采集系统相距很远。为了解决这些问题，可以利用各种信号调理技术，包括差分测量模式、高增益、滤波等，实现信号最大化和噪声最小化。这些做法导致热电偶相对低的测量速度，通常为每秒几百个读数。此外，热电偶输出是非线性的，因此，必须在所用的硬件和/或软件中植入线性化程序，已将热电偶电压转化为温度读数。利用热电偶测量温度还需要使用参比端。

表1 常见温度传感器类型

| 特性 | 热电偶 | 电阻温度检测器 | 电热调节器 |
|--------|---------------------------------------|--|---|
| 整体性 | 范围宽；精度适中 | 高精度和可重复性 | 高分辨率 |
| 温度范围 | $-100\sim +2500^{\circ}\text{C}$ | $-200\sim +800^{\circ}\text{C}$ | $-80\sim +150^{\circ}\text{C}$ |
| 精度 | $\pm 1\sim 2^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ |
| 输出信号类型 | 极低电压 | 很小的电阻变化 | 很大的电阻变化 |
| 典型应用 | 工业 食品加工 老化 汽车 航空航天 | 老化 航空航天 实验室监控 生物制药 汽车 造纸/纸浆 食品加工 | 生物应用 控制系统 环境温度测量 消费品 |
| 注 | 几种类型，每种类型都有具体的温度范围 非线性输出 需要冷端补偿 | 相对脆弱 非线性 ΔR vs. Δt 需要电阻桥电路或4线低电阻 | 相对脆弱 非线性 ΔR vs. Δt 需要高分辨率电阻测量 |

热电偶是“塞贝克效应”的实际应用。大约两个世纪以前，物理学家托马斯·塞贝克发现两个不同金属的交界处会产生电压，它是温度的函数。从历史上看，利用热电偶测量温度依靠热电偶的第二个单元来检测已知温度作为基准。曾经，产生基准温度的最常见方法是将参比端浸入冰水中，又称作“冷端”。不过，今天越来越多的仪器，包括吉时利3706A型系统开关/多用表和2700系列多用表/数据采集/开关系统，都非常适合温度测量，而且可以提供一个或多个参比端功能。

在热电偶可用温度范围内，热电偶电压与温度成正比关系。然而，这个关系决不是线性关系。实际上，大多数热电偶在其工作范围之外是非线性的。为了从热电偶获得温度数据，必须通过“现象化”过程将热电偶的非线性电压转化为温度单位。

当热电偶与数据记录仪或其他测量仪器端口相连时，该连接形成额外结点，可能产生不期望的热电电压。插入铜插槽的铜端插针不会生成热点电动势。不过，铜镍插针或插槽与铜线拧在一起将形成J型热电偶结点，将产生热电动势。利用热电偶金属制作的补偿电缆和连接器插针，可以实现像金属那样的连接。务必注意通过热电偶的每个连接器和终端，确保电路中没有不期望的结点。

对于具体应用而言，封装可能影响热电偶的适用性。虽然将一对热电偶线的裸露端拧在一起可以制作热电偶，但通过焊接方式制作的热电偶能够最可靠和一致地工作。现实应用往往要求热电偶与环境隔离并得到保护、与底座、探针装配在一起或者具有最适合具体应用的其他特性。热电偶护套（图1所示）是非常重要的，因为它保护热电偶元件免受腐蚀材料、液体或其他环境因素的污染和物理损坏。常见的护套材料包括铁、钢、不锈钢、铬镍铁合金、陶瓷和搪瓷。

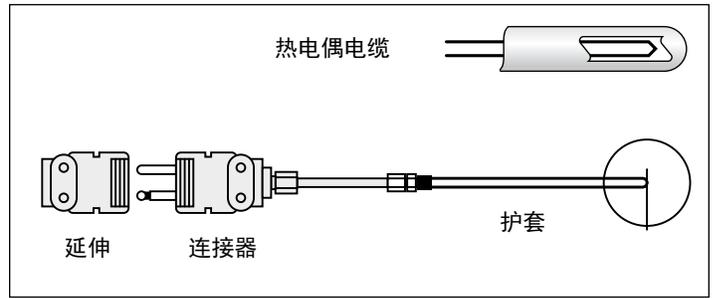


图1 常见的工业热电偶

热电偶的整体响应时间不仅取决于尖部设计，还取决于护套材料、直径及周围介质。相应时间可以从1/10秒到几秒。

构建热电偶时可以使用几种不同的金属合金。每种合金具有不同的特性，给具体应用带来不同的优势。如表2所示，这些合金被赋予一系列标准化字母标号。通过热电偶导体的彩色代码可以识别出热电偶的类型。目前，全球范围内采用集中彩色代码体系，但大部分负极引线使用红色。不过，正极导体、热电偶电缆护套和延伸线护套的颜色可以变化。表3给出美国使用的热电偶彩色代码体系。

表2 热电偶类型

| 类型 | 标尺 | °F范围 | °C范围 |
|---------------------|----|----------|----------|
| J (铁vs. 铜镍合金) | 8 | -70~1400 | -57~760 |
| | 14 | -70~1100 | -57~593 |
| | 20 | -70~900 | -57~482 |
| | 24 | -70~700 | -57~371 |
| K (镍铬合金vs. 铝镍合金) | 8 | -70~2300 | -57~1260 |
| | 14 | -70~2000 | -57~1093 |
| | 20 | -70~1800 | -57~982 |
| | 24 | -70~1600 | -57~870 |
| N (镍铬合金vs. 镍硅合金) | 8 | -70~2300 | -57~1260 |
| | 14 | -70~2000 | -57~1093 |
| | 20 | -70~1800 | -57~982 |
| | 24 | -70~1600 | -57~870 |
| T (铜vs. 铜镍合金) | 14 | -70~700 | -57~371 |
| | 20 | -70~500 | -57~260 |
| | 24 | -70~400 | -57~200 |
| E (镍铬合金vs. 铜镍合金) | 8 | -70~1600 | -57~871 |
| | 14 | -70~1200 | -57~649 |
| | 20 | -70~1000 | -57~538 |
| R, S铂vs. 铂/13%铑 | 24 | -50~2650 | -46~1454 |
| B (铂/6%铑vs. 铂/30%铑) | 24 | 32~2650 | 0~1454 |

表3 美国热电偶彩色代码

| 类型 | (+) 导体 | (-) 导体 | 热电偶套管 | 延伸套管 |
|----|--------|--------|-------|------|
| J | White | 红色 | 褐色 | 黑色 |
| K | 黄色 | 红色 | 褐色 | 黄色 |
| N | 橙色 | 红色 | 褐色 | 橙色 |
| T | 蓝色 | 红色 | 褐色 | 蓝色 |
| E | 紫色 | 红色 | 褐色 | 紫色 |
| R | 黑色 | 红色 | — | 绿色 |
| S | 黑色 | 红色 | — | 绿色 |
| B | 灰色 | 红色 | — | 灰色 |

J、K、N、E和T型等主流金属热电偶经济、可靠且精度较高。它们代表了超过90%的热电偶，非常适合-200°C~1700°C的温度范围。

- E型：适合-200°~871°C，适用于从真空到轻度氧化和/或极低温度的大气层。E型热电偶是金属热电偶中输出精度最高的。
- J型：适合较低温度(0°~600°C)。不应在超过760°C的温度使用。经济且可靠。在塑料工业中使用普遍，也是指定温度范围内的通用热电偶。
- K型：适合高达的1250°C工业温度标准。不能用于化学还原环境。
- N型：与K型热电偶类似，但抗氧化性更好。
- T型：适合-200°~350°C，常用于食品加工行业。

R、S、B型热电偶由铂、铑制作而成，因此被称作贵金属热电偶。作为一个分类，这些热电偶比主流热电偶精度更高，稳定性更好，但也更加昂贵。它们适合高达1700°C的应用，可以用作其他类型热电偶的基准。为了防止在高温下被金属蒸汽污染，这类热电偶应当使用非金属护套。

- R型：高温工业标准(高达1450°C)。与其他金属接触时容易受到污染。在氧化气氛中稳定，但真空或还原气氛中迅速分解。
- S型：与R型热电偶类似，不能普遍用作工业传感器。
- B型：与R型、S型热电偶类似，但适合温度高达1700°C。最好用于250°C以上温度。在低温时提供较弱的非线性输出，在0°C~50°C范围输出电压偏弱，因此不能在50°C以下的温度使用。

电阻温度检测器

电阻温度检测器(RTD)是可用温度传感器中最稳定且精度最高的。其测量范围比热电偶窄，大约是-200°C~+800°C。具体RTD的实际测量范围取决于其组成和结构，但不会超过这个范围。RTD用于要求高精度和高重复性的场合，如食品、实验室和制药应用。精确通常表示为某一特定温度的百分比。

制造RTD需要几种技术。典型RTD配置是在玻璃或陶瓷绕轴上缠绕铂线，然后利用玻璃或其它保护性材料进行封装在，如图2所示。另一个品种是通过在非导电基底上沉积导电薄膜而构建的，然后进行封装或涂覆，以保护薄膜。RTD通常包括连接器、金属护套及探头，类似于热电偶探头。

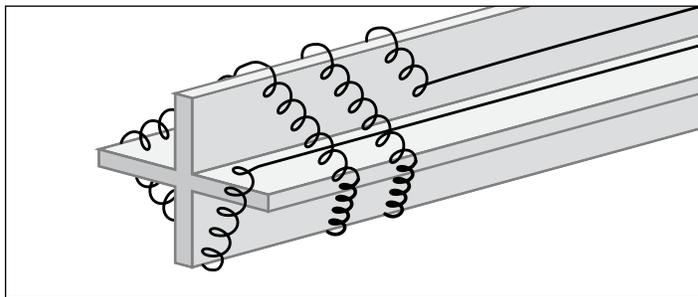


图2 简单的电阻温度检测器

RTD的原理是：大部分金属的电阻随着温度升高而增加。大多数常用RTD是利用铂线制作的，铂制RTD的电阻范围从数十欧姆到数千欧姆，大部分铂制RTD的在0°C时的标准阻值是100Ω。铂制RTD的温度系数(α)取决于所用铂的纯度，其范围是0.00385Ω/Ω°C(欧洲曲线)至0.00392Ω/Ω°C(美国曲线)。

与热电偶不同，RTD不需要参比端。因此，其测量更简单，将标准数字多用表与RTD连接，测量RTD电阻，然后转换为相应的温度。实际上，RTD及相关导线的电阻特性通常要求已经为低阻测量而优化的高灵敏仪器。例如，1个100Ω RTD ($\alpha=0.00385\Omega/\Omega^\circ\text{C}$)带来的电阻为 $100\Omega \times 0.00385\Omega/\Omega^\circ\text{C}$ ，即 $0.385\Omega^\circ\text{C}$ 。连接RTD和欧姆表的导线阻值可能是几欧姆，对于1个100Ω RTD，1Ω电阻的等效温度误差约为2.5°C。

目前，将电阻转化为温度的方法有两种。一种方法是简单地对照速查表，查找与具体阻值对应的温度。在事件将由某个温度触发(可将相应的电阻或电压作为触发电平)的软件编程中，这个方法可行的，但不适合基于RTD阻值实时读取温度。将电转化为温度的另一种方法是利用公式。最常见的公式是使用一系列常数(称作卡伦德-凡杜森系数)的多项式。

RTD电阻与温度之间关系的常用公式是：

$$RTD = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t-100)^3]$$

其中，RTD是在温度t时的RTD阻值， R_0 是在温度0°C时的RTD阻值，A、B、C是卡伦德-凡杜森系数，如表4所示。当温度高于0°C时，系数C为0，公式变为：

$$RTD = R_0[1 + At + Bt^2]$$

使用RTD和其他大多数电阻传感器的一个方面是电阻（“焦耳”）加热，励磁电流通过传感器（功率=励磁电流 2 × RTD电阻）。虽然热能有限，但仍可能影响测量精度。自发热通常定义为使RTD温度升高1°C的功率，其典型值大约是1mW/°C。

更高的励磁电流以及周围低比热介质的停滞将扩大焦耳加热带来的精度误差。如果周围介质处于运动中或者将RTD热量带走，那么其影响将降低。

表4 常见RTD的卡伦德-凡杜森系数

| 标准 | RTD 温度系数(α) | A | B | C* |
|-----------|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| DIN 43760 | 0.003850 | 3.9080×10^{-3} | -5.8019×10^{-7} | -4.2735×10^{-12} |
| American | 0.003911 | 3.9692×10^{-3} | -5.8495×10^{-7} | -4.2325×10^{-12} |
| ITS-90 | 0.003926 | 3.9848×10^{-3} | -5.8700×10^{-7} | -4.0000×10^{-12} |

* 仅用于低于0°C的温度。对于高于0°C的温度，C = 0。

电热调节器

电热调节器（热敏电阻）是另一种常用的电阻温度检测器。虽然RTD和电热调节器都是电阻器件，但其操作和使用却截然不同。

电热调节器（如图3所示）是无源半导体器件，包括负温度系数(NTC)和正温度系数(PTC)电热调节器。负温度系数(NTC)电热调节器电阻随着温度升高而下降，而正温度系数(PTC)电热调节器电阻随着温度升高而增加。对于温度测量应用而言，负温度系数(NTC)电热调节器比正温度系数(PTC)电热调节器用得更多。

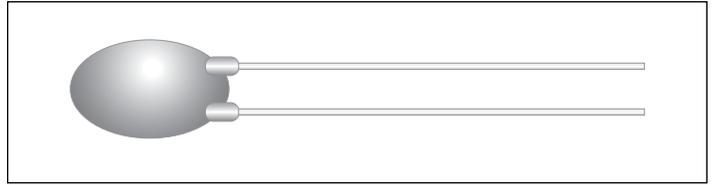


图3 电热调节器

电热调节器可以做得非常小，这使得其可对微小温度变化迅速做出响应。不过，它们容易产生自身加热误差。电热调节器相对脆弱，因此必须仔细处置和安装，以避免损坏。

电热调节器提供的基准电阻值范围比RTD宽，其基准电阻值在千欧到兆欧之间。同RTD相比，典型电热调节器的温度系数相对较大——在几个百分点或每摄氏度数千欧姆。温度系数高导致每摄氏度电阻变化高达数千欧姆。因此，电热调节器与仪器之间连接导线的电阻是微不足道的，即使不采用高增益仪器输入及3线或4线测量配置等特殊技术，也可以实现高精度测量。

虽然电热调节器具有相对少的缺点，但重要的是要清楚实现精确、可靠测量的限制。例如，电热调节器是相对低温器件，即使某些电热调节器测量温度高达300°C，但其典型测量范围是-50°C~150°C。这个范围比热电偶和RTD窄得多。在较高温度下，可能造成电热调节器永久失去校准，带来测量误差。电热调节器响应是高度非线性的，不像热电偶和RTD那样是标准化的。电热调节器更适合在相对狭窄的温度范围内需要高灵敏测量的应用，而不是一般的温度测量。

同RTD相比，电热调节器具有较高的基础电阻值和较高的电阻温度系数，因此只在更重要的电热调节器应用中需要4线配置和灵敏的测量能力，因为同电热调节器自身电阻相比，测试导线电阻显得微不足道。

大部分电热调节器输出是高度非线性的，其响应比热电偶或RTD更加标准化。因此，制造商经常为其特定产品提供电阻-温度曲线、图表或常数。典型电热调节器系数(α)范围是-2%~-8%/°C，而且在温度范围的低端通常更大一些。线性化电热调节器也是存在的但计算机化数据采集系统和软件的应用使得这类电热调节器已不是必不可少的，除非读取硬件必须与线性化电热调节器一起使用。

对于计算机化应用，利用斯坦-哈特等式可以计算出相对精确的电热调节器曲线：

$$T = \frac{1}{A + B \times \ln(R_T) + C[\ln(R_T)]^3}$$

T是开尔文温度，它等于摄氏温度+ 273.15。R_T是电热调节器电阻。对于给定电热调节器，电热调节器制造商应当提供A、B、常数。

测量仪器方案

温度测量系统的性能取决于所用的测量硬件和传感器。如果使用多个传感器进行监控，选择适当的开关硬件也非常关键。为了确保系统完全满足应用需求，在开始选择过程之前考虑以下几个重要问题也很有帮助：

- 系统必须处理什么类型的温度传感器？
- 系统必须容纳多少个温度通道？
- 这个应用是否需要远程测量/监视温度？
- 除了在系统中包含温度测量，该应用是否还需要其他电子测量？
- 测量需要什么类型的可追踪性？

虽然热电偶、RTD和电热调节器与许多类型的测量仪器兼容，但数字多用表(DMM)是最常见的选择。目前，越来越多的数字多用表(DMM)能够测量温度传感器生产的极低电压或电阻。其固有的低噪声设计和可追踪精度性能使得它们非常适合温度测量应用。对于需要多点监视温度的应用，从灵活性、测量精度和测试吞吐量等方面综合考虑，包含综合开关硬件的数字多用表(DMM)往往是最经济的解决方案。例如，吉时利3706A型系统开关/多用表(图4)在一台仪器内集成了可升级的仪器级开关和多通道测量功能。



图4 3706A型系统开关/多用表采用独立2U机架，支持高达360个热电偶通道

对于温度监控系统构建，这个完全一体化的高速开关和高集成度测量组合，将大大简化系统集成过程，并有助于控制系统硬件成本。3706A型仪器的诸多特性使得其非常适合多种温度监视和控制应用：

- 在一个2U机架内包括多达360个热电偶通道，采用标准端子模块连接。
- 可兼容3720、3721、3724型多路选通卡自动冷端补偿(CJC)，提供螺丝端子附件，用于热电偶型温度测量。
- 内建测温支持，包括3种类型电热调节器：2.2kΩ、5kΩ和10kΩ。
- LXI/以太网连接，简化远程温度监视。
- 除了3700A系列主板，可通过内建TSP-Link™接口选择扩展温度监视通道。
- 14个可编程数字I/O线路，允许控制外部设备，如部件处理程序或其他仪器，或者在关键温度参数超过限度时，发送警报指示。
- 嵌入式图形工具包，支持实时数据趋势分析，对温度监测任务具有重要价值。该工具包可向用户提供观察数据的快速、容易、灵活的方法——可以在几秒钟内检查长时间测试进程，如果结果不符合预期，可以进行调整。用户不必在PC或仪器上安装专用软件或编写代码，即可从仪器读数缓冲区提取数据以及向第三方软件包或数据表输入数据，用于分析。
- 在涉及监视多点温度、电压和电阻的老化等应用中，3706A型仪器的绘图能力可以简化整个测试过程的趋势描绘。用户可以通过实时模式或用户定义增量方式，在线图或散射图中浏览多达40个通道的数据采集。3706A型仪器简化了各通道读数的比较和对比，因此用户可以尽早发现潜在的问题。

类似地，吉时利2700系列多用表/数据采集/开关系统(图5)非常适合监视和记录温度。该系列的3款主机通过内建信号调理和300V隔离支持热电偶、RTD和电热调节器。在开始使用温度传感器之前，系统用户将其插入9个7700系列开关/控制模块中的一个模块，这些模块支持温度测量、传感器连接，剩下的事情由仪器完成。如果热电偶破损或断开，仪器会提醒操作人员。



图5 2700系列多用表/数据采集/开关系统非常适合温度测量，支持热电偶、RTD和电热调节器

与3706A型仪器相似，这些主机支持自动(内建)、外部和模拟等3种冷端补偿(CJC)方法。内建通道监视特性允许在扫描期间监视前面板显示器的指定输入通道。这个特性还可以作为模拟触发，基于某些外部因素(如温度上升超过预设限制)启动扫描序列。只采集感兴趣的数据，因此无需浪费几个小时的时间通过大量阅读进行搜索，以发现异常数据。

表5 吉时利多通道温度测量解决方案

| 型号 | 兼容传感器 | 最大通道数 | 继电器类型 | 特性 |
|---|---|-------|-------------------------------|---|
| 3706A 6插槽、2U全机架 宽度主机，带有综 合数字多用表 | 热电偶 J, K, N, T, E, R, S, B 型 | 360 | • 电磁继电器 • 固态继电器 | <ul style="list-style-type: none"> • 利用低噪音多用表进行快速扫描 • 热电偶开路检测 • 螺丝端子配件，用于热电偶连接和冷端补偿(内部CJC) • 可选温度基准 • 长寿命固态卡(3724型) • 可选温度单位(°C, °F, K) • 偏移补偿电阻，以提高低电阻精度 • 螺丝端子配件，用于RTD和热敏电阻连接 |
| | RTD, 3线或4线PT100, D100, F100, PT385, PT3916, 定制RTD | 180 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |
| | 电热调节器 2.2kW, 5kW, 10kW | 360 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |
| 2700 & 2701 2-slot, 2U half-rack width mainframe with integrated digital multimeter | 热电偶 J, K, N, T, E, R, S, B 型 | 80 | • 电磁继电器 • 固态继电器 | <ul style="list-style-type: none"> • 热电偶开路检测 • 卡支撑冷端补偿(内部CJC) • 可选温度基准 • 长寿命固态卡(7710型) • 可选温度单位(°C, °F, K) • 偏移补偿电阻，以提高低电阻精度 • 螺丝端子配件，用于RTD和热敏电阻连接 |
| | RTD, 4线PT100, D100, F100, PT385, PT3916, 定制RTD | 40 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |
| | 电热调节器 2.2kW, 5kW, 10kW | 40 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |
| 2750 5-slot, 2U full-rack width mainframe with integrated digital multimeter | 热电偶 J, K, N, T, E, R, S, B 型 | 200 | • 电磁继电器 • 固态继电器 | <ul style="list-style-type: none"> • 热电偶开路检测 • 卡支撑冷端补偿(内部CJC) • 可选温度基准 • 长寿命固态卡(7710型) • 可选温度单位(°C, °F, K) • 偏移补偿电阻，以提高低电阻精度 • 螺丝端子配件，用于RTD和热敏电阻连接 |
| | RTD, 4线PT100, D100, F100, PT385, PT3916, 定制RTD | 100 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |
| | 电热调节器 2.2kW, 5kW, 10kW | 100 | • 电磁继电器 • 磁簧继电器 • 固态继电器 | |

2700型两插槽仪器已为产品开发、自动测试、元件测试、和过程监控等领域的温度记录、精确测量与控制、混合信号数据采集等应用而优化。

内建10/100BaseTX以太网接口使得两插槽2701型仪器非常适合需要稳定、高精度测量的分布式温度测量应用。它可提供研究和开发任务中高精密测量远程通信，如实验室环境经济监控。

2750型仪器有5个插槽，可以简化数百个通道测量和控制应用的配置解决方案，非常适合电源老化测试等应用。

进行温度测量的原因有很多。虽然传感器种类繁多，但热电偶、电阻检测器和电热调节器是3中重要传感器。温度测量系统性能取决于所用的测量硬件和传感器。表5给出吉时利温度测量解决方案。欲了解有关为具体传感器优化开关卡的更多信息，请访问[3706A型](#)和[2700系列](#)仪器在线数据表。

开关电源老化测试技术

概述

电信、桌面计算和网络服务器市场快速增长的一个结果就是对开关电源和DC-DC转换器需求旺盛。尽管这些电源通常都不昂贵，但是必须通过生产测试提供高质量产品。

高加速应力筛选（HASS）或“老化”是计算机和服务器开关电源设计中一个常见的生产步骤。为了确保产品在整个服务周期持续正常工作，需要进行扩展环境测试。同时对数千个电源进行老化和监视是非常正常的。在设计这类测试系统时，面临的最大挑战是应对系统必须监视的数量众多的通道以及测试系统环境。众多开关电源可能产生大量电噪声，从而大幅降低测试系统的测量性能。

测试描述

在许多电信和服务器应用中经常见到输出范围在400W~2000W的高端电源和DC-DC转换器。这些设备通常具有4~6个电压输出，必须予以验证。其输出电压范围是3.3V~48V，一个输出端为5V。为了验证整个电源是否正常工作，制造商往往只5V监控输出。这意味着在制造期间要对所有通道进行测量，但对于老化测试，只需对一个输出进行监测，以降低测试系统测试的通道数量。降低监视的通道数量便于测试系统在测试周期协调更多的电源，从而降低整个成本。PC中成本和复杂度较低的电源可能具有6个输出，但笔记本电脑的电源适配器只有1个输出。同前面的例子一样，只需监视1个通道。在环境老化室温度达到上限和下限时，对5V输出进行监视，并对电源输出进行重复开/关。

监测电压

图1给出电源电压输出监测示意图。为测量电源电压，将数字多用表(DMM)与负载电阻进行并联。负载电阻的选择旨在模拟最终应用中负载的电阻，为了进行应力测试，可以选择达到完全输出容量。

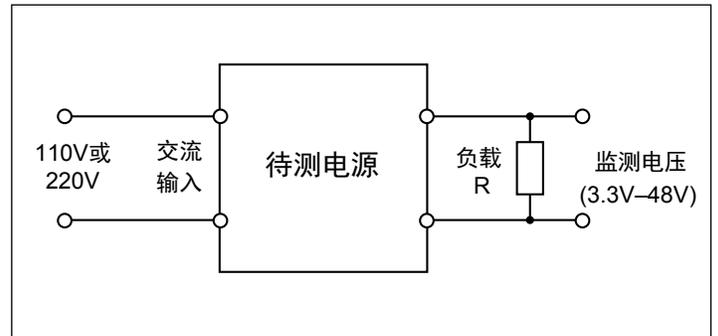


图1 监测开关电源输出

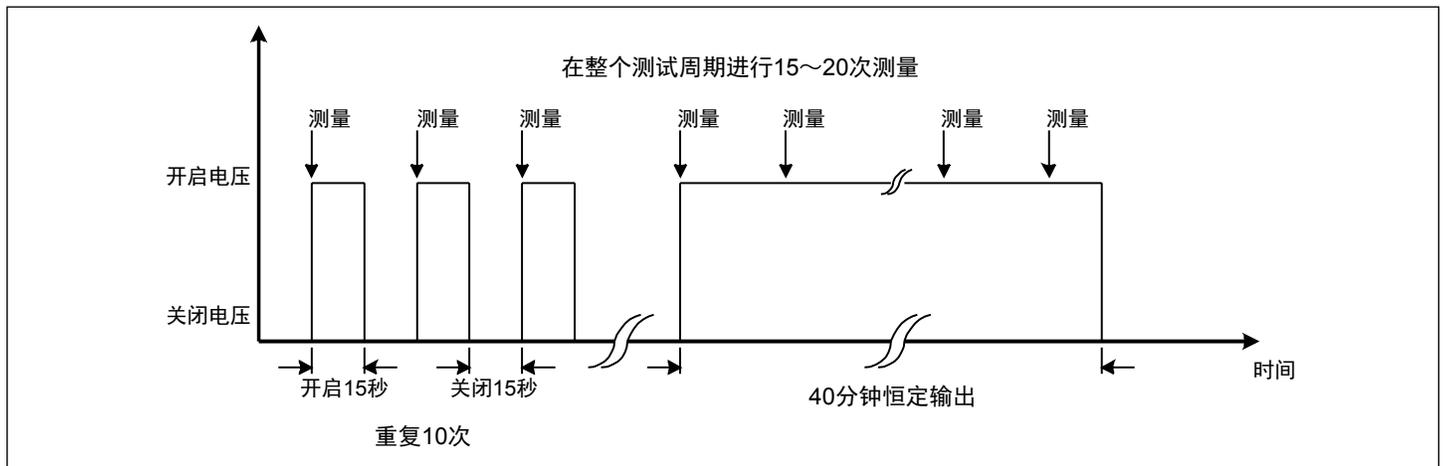


图2 典型的测试周期

输出循环

对正在进行测试的电源进一步施加应力，对输出进行重复开启和关闭。如果器件注定失效，通常在输出循环时出现故障。为了采集故障数据，在每次输出开启期间，都要对每个电源输出电压进行测量，如图2所示。在输出循环15~20次以后，保持输出，使电源保持持续老化。当输出保持时，偶尔对电压进行测量。

测试系统描述

老化测试的基本要求是，在整个测试周期，在每个开关电源输出情况下对负载电阻电压降进行测量，如图1所示。测试周期持续时间从少于1小时到几天，具体取决于制造商确定的质量要求。

图3给出环境箱内300通道老化系统实例，它使用3706A型仪器的7位半数字多用表（DMM）对每个电源进行所需的电压测量。利用6个3720型双1×30多路选通卡实现3706A型仪器输入端与每个电源的连接。之所以在本例中利用3720型多路选通卡，是因为每个卡在300VDC电压可以监测多达60个通道。对于每个电源而言，每个通道拥有两个连接（HI与LO）。

电源的典型指标是：输出5V，精度10%，这对3706A型仪器的7位半数字多用表（DMM）不是问题。如图2所示，当输出以15秒循环时，数字多用表（DMM）必须在15秒开启时间对300通道进行测量。尽可能将集成速度或测量时间设置得快一些（NPLC = 0.001），并禁用所有滤波器，以使测量迅速而容易。

利用3706A/3720型多用表/数据采集系统，可以独立验证环境温度箱的温度。如果将3720型仪器的1个60通道差分多路选通模块插入3706A型仪器，则系统可以容纳60个热电偶。

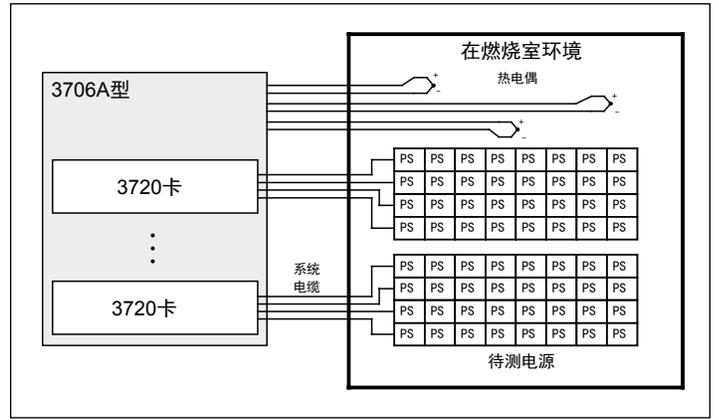


图3 800通道开关电源老化测试系统示意图

典型误差来源

环境噪声

在环境温度箱内放置数百个开关电源是很难进行精确的电压测量的，因为开关电源辐射出高频噪声。如果接地有噪声，那么传统数据采集系统不能进行满意测量。这里介绍的系统要求利用数字多用表的高阻抗输入快速扫描多个通道。在这种情况下，很难区分临近通道的5V和0V电压。即使3706A型多用表出众的共模抑制比（CMRR）、常模抑制比（NMRR）和26位ADC，进行这种区分也可能很难。不过，吉时利已经开发出简化这个问题的算法（将在本应用笔记中予以介绍）。

为了确定电源是好是坏，测试系统不仅检测绝对电压值，而且对随后的读数进行比较。图4a和图4b给出对噪声信号进行采样的两种不同结果。假设正在测试的电源是可接受的，这两张图说明噪声怎样影响最终的测试结果。图4b中的样本2是在噪声尖峰引入系统时采集的。这说明考虑每个电源的多个样本或提高测量集成度的重要性。

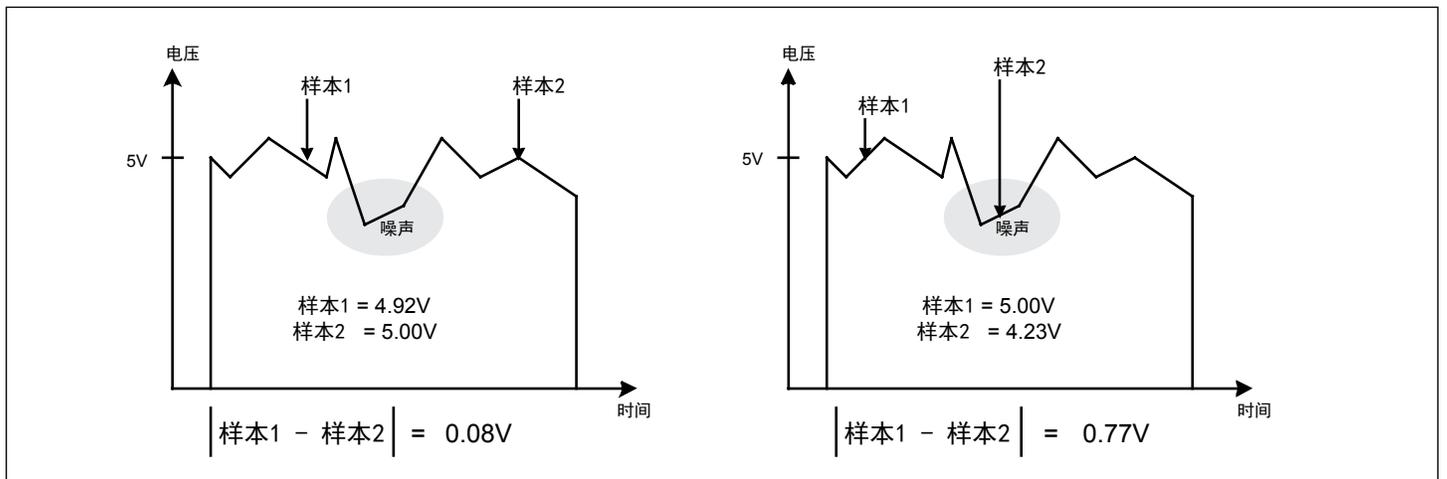


图4a 多个样本的优良结果

图4b 多个样本的不良结果

当利用极快扫描速度测量一个通道的5V和相邻通道的0V电压时，数字多用表可能无法测量第二个通道的0V电压。实际上，第一个读数可能是4.7V，后面的读数将降低至4.3V、3.7V并逐渐降低至0V。这个逐级降低是因为数字多用表巨大的输入阻抗和测试系统电缆和夹具电容生成的RC时间常数。相反，如果对5V电压测量两次(也就是电源良好)，那么两个结果将是相近的(相差小于10mV)。因此，样本1 - 样本2 = Δ ，如果 $\Delta < 10\text{mV}$ 且两个样本在限度以内，那么电源是可接受的。不使用这个算法，设置更高的测量集成度将大幅改进仪器在噪声环境下的测量性能，但作为结果的扫描速度将不足以支持这个应用的通道数量和时间限制。

继电器寿命

通常，当电源被测试时，其输出是开启的。因此，随着开关电压主机对每个器件进行扫描，继电器将随着触点电压而开启和闭合。以这种方式激励继电器将增加电弧放电的可能性，这可能大幅缩短继电器寿命。当电压没有切换时，3720型多路选通卡的继电器额定寿命是108次闭合；如果1A、300V信号持续切换，则继电器寿命是105次闭合。随着信号电平的下降，继电器期望寿命将增加，因此，注意每个被测电源的电压和电流电平是非常重要的。

设备清单

组装图3所示的300通道开关电源老化测试系统需要以下设备：

- 3706A型系统开关/多用表
- 6个3720型多路选通卡
- 10根3720-MTC-3型电缆
- 1个3720-ST型螺丝端子

替代解决方案

2700型多用表/数据采集系统支持多达80个通道，适合更小型和模块化系统。2700型仪器已为更小的高加速应力筛选(HASS)系统或更小的电源生产批量而优化。2700系列开关卡解决方案适合温度监测和高达300V的模拟信号路由。利用吉时利PIO数字I/O板和固态继电器(SSR)模块可以完成电源输出循环。

测试系统安全性

许多电子测试系统或仪器能够源或测量危险电压和功率电平。在单一故障条件下(如编程错误或仪器故障)，当系统显示没有危险存在时，有可能输出危险电平。

这些高压和高功率电平使得我们必须保护操作人员始终免遭危险。保护方法包括：

- 设计测试夹具，防止操作人员接触危险电路。
- 确保待测器件完全封闭，保护操作人员免遭飞行碎片威胁。例如，如果施加过多的电压或功率，电容器和半导体器件可能爆炸。
- 对操作人员可能碰到的所有连接进行双重绝缘。双重绝缘确保操作人员得到保护，即使1个绝缘层失效。
- 使用高可靠、故障安全互锁开关，当测试夹具打开时切断电源。
- 在可能情况下，使用自动处理程序，这样操作人员无需接触测试夹具内部或断开保护。
- 为系统所有用户提供适当的培训，使其了解所有潜在的危险，并知道怎样保护自己免受伤害。

确保针对操作人员和维护人员的保护到位和有效是测试系统设计人员、集成人员和安装人员的责任。

连接器生产测试解决方案

概述

随着电子产品日益普及，电连接器的重要性日益凸显。¹ 高质量的连接器对于确保在从汽车到大西洋海底电信系统的应用中整个产品的可靠性至关重要。对连接器进行电子测试的程度和种类通常取决于其对所在系统工程整体性能的重要性。在要求高可靠情况下，一般需要严格的电子测试。隔离和连续性是连接器测试中两个最常见的测量参数。隔离测试通常在连接器各引脚之间以及连接器引脚与外壳之间进行。隔离测试用来验证信号没有错向，而且在连接器操作条件下隔离充分。连续性测试在引脚之间进行，确保连接器一经安装，电子信号就将正确传输。

在连接器测试中可能使用许多仪器，因此为具体应用选择最佳方案并不容易。本应用笔记主要解决在构建连接器特性分析系统时遇到的问题。

测试说明

隔离(绝缘)电阻

鉴于当今电子产品尺寸越来越小，电子信号频率越来越高，隔离成为可靠性和串扰的重要考虑。高热和振动等环境条件也可能引起隔离降级和连接器内部短路。隔离通常是在两个引脚之间施加电压并测试流经它们的电流，并将测试得到的电阻与预置的阈值电阻进行比较。如果电阻太低，则连接器被拒绝。常见阈值电阻范围是 $1M\Omega \sim 1T\Omega$ 。图1给出连接器等效电路图，隔离电阻标记为 R_{iso} 。当对极高欧姆器件进行测试时，测量得到的电阻可能随着施加电压的变化而变化，这个效应称作电阻电压系数。这个效应使得在测试高值电阻器时，利用源电压测量电流的方法称为首选。

实际测试电压的选择取决于仪器能力和电流测量灵敏度，以及连接器材料等级。对于给定的电阻值，较高的电压将导致较大的电流，利用较高分辨率的仪器可以测得。图2说明怎样利用恒压方法测量大电阻。当测得的电流相当低时，测量误差的概率将增加。带来误差的因素包括环境中充电物体产生的噪声、测试夹具中的漏电流以及电缆电容。在本应用笔记“典型误差源”部分，将讨论克服这些测量障碍的策略。

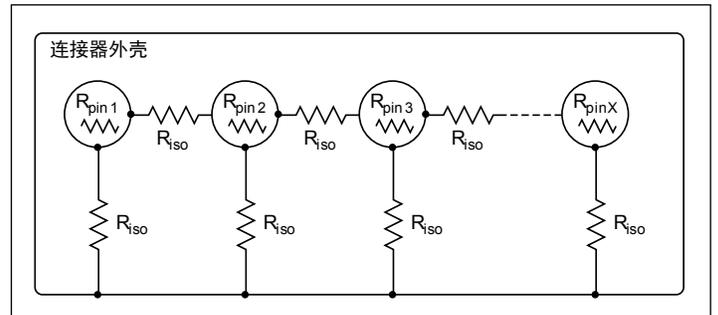


图1 连接器等效电路图，给出引脚连续性和隔离电阻

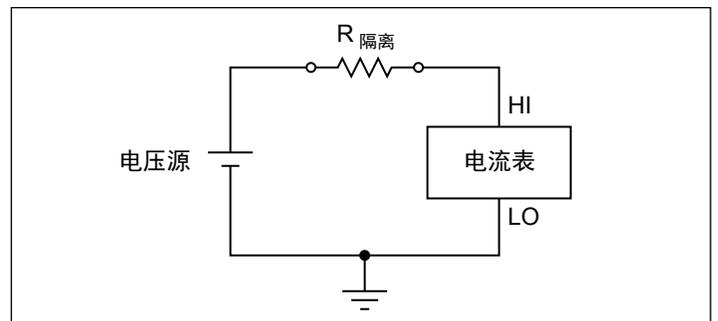


图2 测量大电阻的恒压方法

引脚连续性

由于连接器的长期性能越来越重要，其从输入到输出的连续性性能也变得更加重要。连接器引脚通常是由金属合金制作的，因此测量结果是极低的阻值。通常，连续性是通过向引脚施加恒定电流进行测试的，然后测量相应的电压降。引脚连续性记作 R_{pin} ，参见图1。利用大电流测试连续性有两个好处：首先，足够高的测试电流将确保作为结果的电压信号超出测试系统的噪声基底。噪声基底包括与引线电阻电压降相关的误差以及在不同金属结合处因温度波动引起的电压。其次，较高的测试电流可能作为连接器的应力试验。为了验证连接器的性能裕度，通常，在电流电平高出额定电流电平时对连接器进行测试。图3说明怎样使用电流源和伏特计测量电阻。测量低电阻的大多数仪器包括内建电流源和伏特计，测量电阻时，可以通过仪器总线指令或前面板按钮对其进行配置。

¹ 虽然本应用笔记的目标是连接器生产测试，从事电缆组件制造的工程师也进行类似的测试。在选择测试设备时，他们也可以从这个应用笔记中找到有用信息。

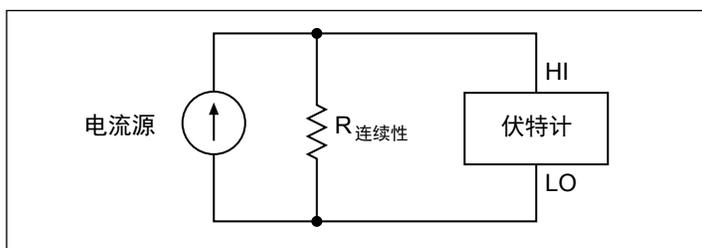


图3 测量低电阻的恒流方法

解决方案简介

表1给出用于连接器测试的吉时利测试设备解决方案。利用该表，可以确定最适合具体测试参数的解决方案。

在选择测试设备时，用户/设计工程师需要确定适当的精度和速度要求、测量电路的范围、测量电阻的方法、以及是否需要对测试电流值或电压值进行控制。其他特性，如夹具接口和极限测试，对用户也非常重要。

开关解决方案的选择需要对测试环境和测试序列进行规划。在设计开关系统之前，弄清楚以下问题将对工程人员有所帮助：

- 待测器件有多少个？
- 是否需要并行测试？
- 系统是否履行多引脚/引脚-引脚测试？
- 源和/或测量的最大电压和电流电平是多少？

表1 连接器测试仪器选择指南

| 测试设备 | 引脚连续性 | 隔离测试 | 测量范围 | 重要特性 |
|--------------------------------|-------|------|-----------------------------|--|
| 2750型多用表/开系统 | • | • | 引脚连续性: 1mΩ+ 隔离: 高达100MΩ | 可选择内部切换。 偏移补偿。 公共端电阻配置。 提高低电阻测量能力。 |
| 2790型多用表/开系统 | • | • | 引脚连续性: 10mΩ+ 隔离: 高达1GΩ | 可选择内部切换。 偏移补偿。 500V可编程电压源(低功率)。 50mA可编程电流源。 |
| 2400型数字源表® 源测量单元(SMU) 仪器 | • | • | 引脚连续性: 1mΩ+ 隔离: ~ 1GΩ | 可编程测试电流(引脚连续性)。 可编程电压源(隔离测试)。 内存中可节省100个测试设置。 自动关闭输出, 减少器件加热。 触点检查方案。 |
| 2400型数字源表和2182A型纳伏表 | • | | 引脚连续性: 1μΩ+ | 可编程测试电流。 德尔塔模式——电流倒向技术, 适合2400和2182A仪器。 |
| 3706A型系统开关/多用表 | • | • | 引脚连续性: 1mΩ+ 隔离: 高达100MΩ | 可选择内部切换。 偏移补偿。 公共端电阻配置。 提高低电阻测量能力。 高达576个双线多路复用通道。 |
| 6487型皮安表, 含电压源 | | • | 隔离: 1kΩ-1TΩ | 独立可编程电压源(±500V)。 V/I欧姆。 |
| 6517B型静电计 | | • | 隔离: 200kΩ-1e17Ω | 独立可编程电压源(±1000V)。 可选择内部切换。 可选择温度和湿度测量。 |
| 2001/2002型高性能多用表 | • | • | 引脚连续性: 10mΩ 隔离: 高达1GΩ | 偏移补偿。 可选择内部切换。 可选择1801型纳伏表前置放大器, 以提高灵敏度(采用这个前置放大器, 测试电流为9.2mA时, 引脚连续性范围可扩展至5mΩ)。 |
| 6221型电流源和2182A型纳伏表 | • | • | 引脚连续性: 100nΩ 隔离: 高达100GΩ | 德尔塔模式, 用于低热、低阻测量。 |

- 测量的速度和精度要求是多少？

在确定具体应用需求后，设计人员可能希望与吉时利应用工程师商讨开关和测量解决方案。

测试系统选择说明

3700A系列或2700系列/Integra系统

选择合适的测试设备较难。3700A系列或2700系列系统在单一设备内集成开关和测试硬件，简化了测试设置。这些产品包括高精度数字多用表，含多种开关卡和开关拓扑结构（多路复用器、矩阵等……）。表2给出3700A和2700系列仪器概述。欲了解可用开关模块的更多信息，请登录公司网站：www.keithley.com.cn

这些系统使用恒流方法，可对各种范围电阻进行测量。仪器量程高达100MΩ，对测量诸多应用中的隔离电阻都绰绰有余。这些型号仪器还提供4线连接、干电路测试（3706A和2750）、偏移补偿和低电流源，防止在低电阻测量中器件加热。本应用笔记“典型误差来源”部分，将探讨怎样利用这些特性降低或消除测量误差。

3706A型和2750型主机能力得到改进，可以精确测量低欧姆电阻，这使得其非常适合引脚连续性测试。3721型开关卡与3706A型仪器配合、或7701型开关卡与2750型仪器配合，允许4线连接，不影响通道数量。这些开关卡为4线电阻测量提供同样的通道数量（3721: 40通道，7701: 32通道），因为它使用公共端电阻配置进行2线测量。如图4所示，将Sense HI和Input HI与总线连接，可以实现4线测量，该总线所有器件的公共端。通过这种配置，利用3706A型仪器和6个3721型开关卡，可以对240个低阻器件进行测试。

多引脚连接器测试可能需要开关配置，在这种配置下，可从任何一个引脚到其他引脚进行测量。矩阵开关卡支持方便的引脚-引脚测试，使用3700A型和2700系列仪器都可实现。

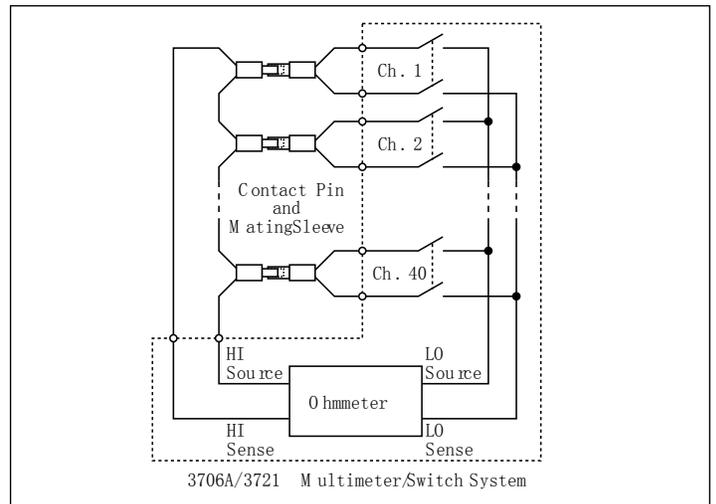


Figure 4. Common-Side Ohms Configuration

2790型数字源表/开关系统

如果源代码编程是必需的，可以考虑把2790型数字源表开关系统作为一个可能的解决方案。作为Integra系列产品之一，2790型仪器具有2700型的多用表功能以及可选开关模块，包括电压和/或电流源。可供2790型仪器选择的3个模块是：7751型高压源/开关模块、7752型低压电流源单电源/开关模块以及7702型40通道通用多路复用模块。

7751型模块包括低功率可编程500V电压源，最大输出电流50μA，以及1个50mA可编程电流源。此外，为了进行更精确的测量，7751型模块上还有一个I-V转换器，其效果优于2790型主机内置安培计。这些改进的源和测量能力，允许利用2790型仪器进行高达1GΩ的隔离测量和低至10mΩ的连续性测量。7752型开关卡还可作为2790型仪器的一个选配。7752型电源包括1个50mA可编程电流源，非常适合只进行连续性测量的应用。

表2 Integra系列对照表

| Integra系列产品 | 插槽数量 | 通信接口 | 最大通道数或交叉点 | 内部数据缓存容量 | 单通道最大读取速度(读数/秒) | 其他特性 |
|-------------|------|------------------|---------------|----------|-----------------|-------------------|
| 2700型 | 2 | GPIB, RS-232 | 80通道或96个交叉点 | 55,000 | 2000 | |
| 2701型 | 2 | Ethernet, RS-232 | 80通道或96个交叉点 | 450,000 | 3500 | 便携、½机架、2U设计 |
| 2750型 | 5 | GPIB, RS-232 | 200通道或240个交叉点 | 110,000 | 2500 | 低电阻能力(最大灵敏度1μΩ) |
| 3706A型 | 6 | | 576通道或576个交叉点 | 650,000 | 14,000 | 低电阻能力(最大灵敏度0.1μΩ) |

每个7751或7752型模块允许至12个待测器件（DUT）的双线连接。如果需要更多连接，可以考虑在2790型的第二个插槽使用7702型40通道多路选通卡。除了通道数量更多，这个插卡还允许向数字多用表传输数据，进行一般测量，包括电压、电流和电阻。7751/2型选通卡电源可通过螺丝端子接入，还可以中继到7702型插卡用于测量。

对于某些应用，2700系列仪器的测量范围可能不足以满足隔离和连续性测量的测试要求。工程人员可能还希望测试中使用的电流源或电压源电平具有更多的灵活性。在这些情况下，2400系列数字源表源测量单元（SMU）仪器可能成为更合适的解决方案。

2400系列数字源表源测量单元（SMU）仪器

数字源表源测量单元（SMU）仪器在一个半机架机壳内包括电压源、伏特计、安培计和欧姆计。有了这些部件，数字源表源测量单元（SMU）仪器在引脚连续性测试和扩大范围的隔离电阻测试中，就可以提供更高的测量灵敏度。

不过，某些器件在没有加热情况下可能无法承受这么高的电流电平，这可能带来很大的测量误差。数字源表产品具有自动输出关闭功能，使电源维持完成测量所需的足够长时间（只有几毫秒），从而减少器件加热。自动输出关闭还有一个好处，就是提供冷切换，可以延长开关系统中继电器的寿命。2400系列仪器还包括偏移补偿及可编程设置，允许用户应用于电路条件。

对于测试精度要求较高的极低电阻器件，可能需要灵敏度更高的伏特计（如2182A型纳伏表）与数字源表源测量单元（SMU）仪器配对。当2182A型纳伏表和数字源表源测量单元（SMU）仪器一起使用时，使用10mA电流源进行1mΩ测量的不确定性是0.45%。将这些指标与上一段落中的例子（只使用数字源表源测量单元（SMU）仪器）相比，可以发现，2182A/2400配置电流源引线电阻下降100倍，仅使得不确定性增加0.15%。这两个仪器组合给电流源和测量时间带来更大的灵活性。2182A型纳伏表的Delta模式特性还允许与数字源表测量单元（SMU）仪器进行协调，为测量增加偏移补偿。

另一个方案是使用6221型电流源和2182A型纳伏表，进行低阻测量。当使用6221型电流源的100mA测试电流和2182A型纳伏表的10nV灵敏度时，低电阻测量灵敏度是 $1e-7\Omega$ （100nΩ）。

与2400型仪器相似，您可以控制测试电流。6221型电流源具有触发链路连接，可以触发2182A型纳伏表进行delta测量。使用6221/2182A型而非2400/2182A型组合的主要优势是，6221型电流源控制两个单元。6221型仪器给出的数据单位是伏特、欧姆、瓦特或西门子。由于两个单元都是利用delta模式开发的，系统配置非常简单。

一旦在两台仪器之间连接串行电缆和触发链路电缆，只需按压几个按钮就可以进行配置和启用delta模式。6221型电流源的最大电流是100mA。

2400系列仪器的最大电流是5A。如果使用100mA以下电流，则推荐6221/2182A；如果使用超过100mA电流，则推荐2400系列和2182A型仪器。

如前所述，通常首选方法是使用电压源测试高值电阻。鉴于2400系列仪器包含电压源，利用这些仪器可以测量超过1GΩ的隔离电阻，且精度尚可。2410型仪器包括1100V电源，可用于测试阻值更高的电阻。在500V电压测试10GΩ电阻时，2410型仪器的不确定性仅为0.67%。

其他的隔离测试设备

高隔离电阻测量的其他解决方案包括2001型、2002型和3706A型数字多用表。除了标准多用表功能，如交流电压、交流电流和温度，这些仪器能够使用恒定方法测量高达1GΩ电阻。6487型皮安表提供500V独立可编程电压源和“V/I电阻模式”，非常适合和便于测量隔离电阻。6517B型静电计提供1000V独立可编程电压源，安培计偏移为3fA，在所有标准吉时利仪器中具有最高的电阻测量精度。对于极高的隔离电阻（数百GΩ或TΩ）测量，这个仪器可能是必不可少的。

显而易见，可供选择的仪器方案有很多种。因此，在选择测试设备时，项目工程人员应当认真考虑待测电阻的整个范围，以及可能使用该仪器的其他测量或应用。

开关解决方案

一旦确定哪种仪器最合适，项目工程人员可能关注应用的开关需求。虽然2700系列Integra系统和3706A型仪器可用于开关，吉时利还提供7000系列开关产品，它们是为与测量硬件一起使用而设计的。7001和7002型主机包含和控制插件开关卡，开关卡中包括继电器，用于连接测试设备和连接器测试点。插件开关卡有多种继电器配置。多路复用器和矩阵是两种最常见的开关拓扑。

多路复用器卡用于实现一台仪器与多个测试点的连接。图5给出简单的多路复用器配置，其中电阻器与每个继电器相连。当只有1个通道关闭时，器件与数字源表源测量单元（SMU）仪器输入端相连，然后进行测试。另一方面，矩阵配置提供测试多个不同通道模式所需的灵活性。在矩阵中，系统中的任何一点都可以与系统中任何其他点相连。例如，当测试每个器件需要1台以上仪器时，这个配置就非常有用。图6给出简单的矩阵配置，它与两台仪器以及6引脚器件的5个引脚相连。虽然为了进行测量必须关闭两个通道，但矩阵配置允许对连接器引脚的任意可能组合进行测试。

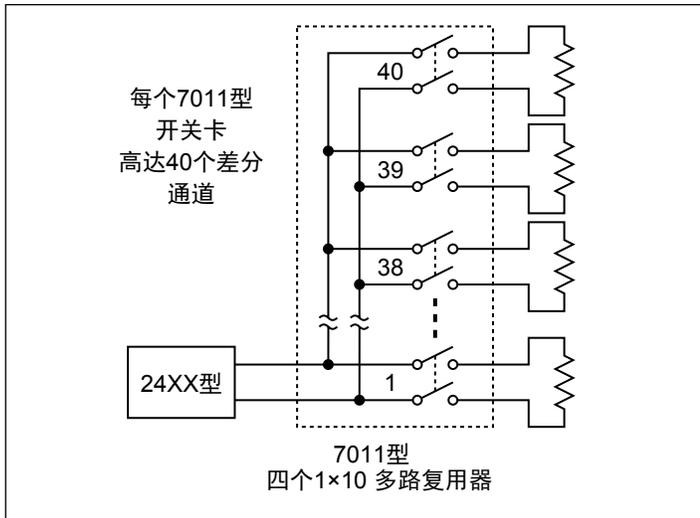


图5 多路复用器配置

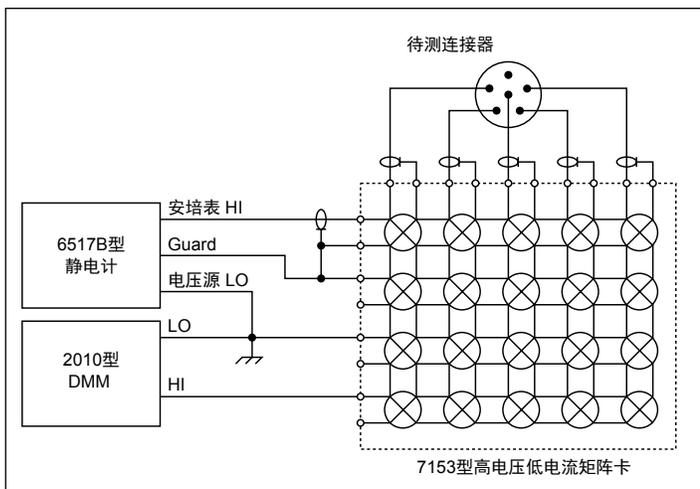


图6 矩阵配置

7000系列开关主机是“智能的”，因为它们可以保存开关模式和序列。这些主机还包括内置触发硬件（参见“测量优化”部分的触发链路介绍），支持开关主机和测量设备之间的硬件握手。有个这个外部触发，无需操作人员干预，仪器就可以执行预设的测试序列。

除了继电器配置，在选择开关硬件时，考虑开关卡性能指标也很重要。开关的目的是在不影响测量的情况下进行连接。测量引脚连续性（低电阻）时，选择具有低接触潜力且额定电流足够高（以承受测试电流）的开关卡非常重要。测量隔离电阻时，要选择具有低偏移电流、高隔离电阻且电压额定值足够高（以承受电压源）的开关卡。欲了解有关选择正确开关硬件的信息，请参阅吉时利《开关手册》。

测量优化

触发链路

触发链路是仪器使用的硬件握手总线，以确保正确的测试排序。这是吉时利所有新型仪器的标准特性，包括本应用笔记中提及的仪器。通过触发链路电缆连接仪表与开关主机时，它们可以彼此触发，从而更快地完成测试。这个内置总线免除了通过PC机对大多数系统同步功能进行直接控制。正确使用触发链路功能后，PC履行的唯一功能就是启动测试和检索系统数据。

典型误差来源解决方案

噪声

在生产环境中，噪声来源有很多。当带电物体（如机器、电机或荧光灯）接近不带电物体（即待测器件）时，可能产生不期望的微弱电压。为了把这种静电干扰效应降到最低，要确保系统所有布线都被屏蔽。所有屏蔽都应当连接至一个公共点，如信号低端（LO）。无论系统布线时单导体还是多导体，最好在线束周围使用一个屏蔽。

漏电流

电缆和夹具中的杂散电流或漏电流可能成为极低电流测量中的误差来源，如高阻器件或参数。为了把漏电流的影响降到最低，测试夹具隔离层必须由电阻高于被测阻抗的材料制作而成。如果忽视这个问题，某些测试电流将经由低阻抗路径流经至接地端，从而影响测量结果。另一种减少漏电流的方法是保护测试。当对多引脚连接器进行测试时，保护其他引脚不被测试也是非常重要的，因为其他引脚与接地之间的电阻可能影响最终测量。利用保护输出连接仪表和其他引脚，可以消除不良电阻及其对地泄漏。欲了解有关保护的更多信息，参见吉时利《低电平测量手册》。

图7说明怎样通过连接6517B型静电计正确进行高阻测量，从而把漏电流、电缆电容和噪声降到最低。

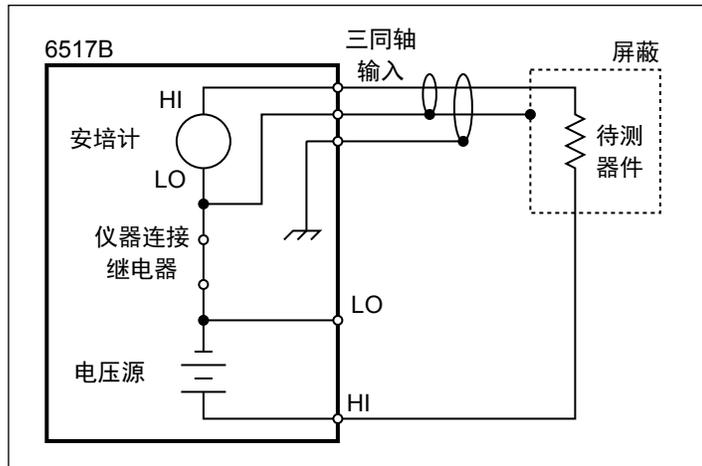


图7 进行保护电阻测量时6517B型静电计连接

电缆电容

测试系统布线中的电容量将决定获得精确读数所需的建立时间。建立时间是由系统的RC时间常数决定的；较大电阻值可能导致较长的建立时间，即使电容数值相对较小。为了获得最佳精度，在进行测量前，应让出4~5倍时间常数。进行高阻测量时，尽量缩短电缆长度、正确保护系统并使用电压源测量电流方法，可以降低系统电容和建立时间。

引线电阻

当使用两条测试引线连接待测器件时，会出现常见的低阻抗误差源。在这种配置中，电流源和伏特计使用一对相同的引线。引线电阻与待测器件串联，将影响到最终测量结果这类设置对连接引脚测试特别不利，因为测试引线电阻实际上可能比连接器自身电阻还要大。图8a说明这种影响。为了消除引线电阻影响，电流源和伏特计必须分开，因此要使用4线（力引线和检测引线）连接器件。检测引线中的电流是可以忽略的，因此引线电阻是微不足道的。图8b说明在没有引线电阻影响情况下，伏特计怎样检测待测器件（DUT）上的电压降。

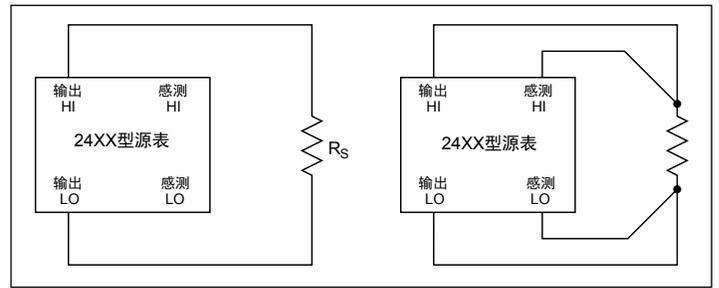


图8a 2线电阻测量

图8b 4线电阻测量

热电动势

对于低阻抗测量，热电动势可能带来测量问题。低阻器件的电压降通常很小。热电动势可能与测试信号处于同一个数量级，从而带来明显的误差。本应用笔记中讨论的大部分仪器都是可以编程的，可以通过偏移补偿或电流倒向技术消除热电动势的影响。这个技术涉及两个测量。第一个测量在期望的电源正电平进行，第二个测量在电源极性相反时进行（或在0A进行，具体取决于仪器）。然后，求出电压差和电流差，就可以计算出电阻了，方法如下：

$$\text{Delta型电阻} = \frac{(V_2 - V_1)}{(I_2 - I_1)}$$

其中， I_1 是在指定的正值设定的电源电流，
 I_2 是与 I_1 极性相反、大小相同的电流，
 V_1 是在 I_1 时测量的电压，
 V_2 是在 I_2 时测量的电压。

设备清单

构建图6所示的连接器测试系统所需设备包括：

- 吉时利6517B型静电计/高阻表。
- 吉时利2010型低噪声多用表。
- 吉时利7001(或7002)型开关主机。
- 7153型4×5高压低电流矩阵开关卡。每个卡可容纳5个连接器引脚。
- 7153-TRX型电缆，用于连接7153开关卡。系统中的每个开关卡需要两根电缆。
- 237-TRX-T型3槽三同轴T型适配器。系统中的每个开关卡需要4个适配器。
- PC，包含KUSB-488型接口卡。
- 3根7007型IEEE-488接口电缆。

测试系统安全性

许多电子测试系统或仪器能够源或测量危险电压和功率电平。在单一故障条件下（如编程错误或仪器故障），当系统显示没有危险存在时，有可能输出危险电平。这些高压和高功率电平使得我们必须保护操作人员始终免遭危险。保护方法包括：

- 设计测试夹具，防止操作人员接触危险电路。
- 确保待测器件完全封闭，保护操作人员免遭飞行碎片威胁。例如，如果施加过多的电压或功率，电容器和半导体器件可能爆炸。
- 对操作人员可能碰到的所有连接进行双重绝缘。双重绝缘确保操作人员得到保护，即使1个绝缘层失效。
- 使用高可靠、故障安全互锁开关，当测试夹具打开时切断电源。
- 在可能情况下，使用自动处理程序，这样操作人员无需接触测试夹具内部或断开保护。
- 为系统所有用户提供适当的培训，使其了解所有潜在的危险，并知道怎样保护自己免受伤害。确保针对操作人员和维护人员的保护到位和有效是测试系统设计人员、集成人员和安装人员的责任。

替代解决方案

某些类型的连接器必须在比这里介绍的更宽电压和电流范围进行测试。吉时利#2154应用笔记——“利用高压和大电流对器件进行测试”，介绍了怎样基于数字源表源测量（SMU）仪器来配置测试系统，该仪器支持测试隔离电阻高达1100V和3A。

利用3732型高密度矩阵卡进行低电平接触电阻(LLCR)针脚插槽测试

概述

当今计算机处理器与过去有很大的不同。同以往的处理器的相比，其耗能更多，运行电压更低，针脚数量更多。同时，它们仍采用CPU插槽而不需要焊接。由于电流较高，CPU与插槽之间较大的接触电阻可能带来较大电压降，并产生多余热量，使CPU无法工作。因此，使接触电阻最小化至关重要。为了满足这个要求，必须对插槽进行全面测试。这个测试通常以低电平接触电阻(LLCR)测试方式进行。

在低电平接触电阻(LLCR)测试中，利用低电平信号对一系列触点进行测试。测试时向触点施加的源电流范围是1nA~100mA，对作为结果的电压降进行评估和测量。由于触点电阻阻值非常小，这个电压降通常也很小(在微伏范围)，为了得到高精度读数，需要高质量伏特计。

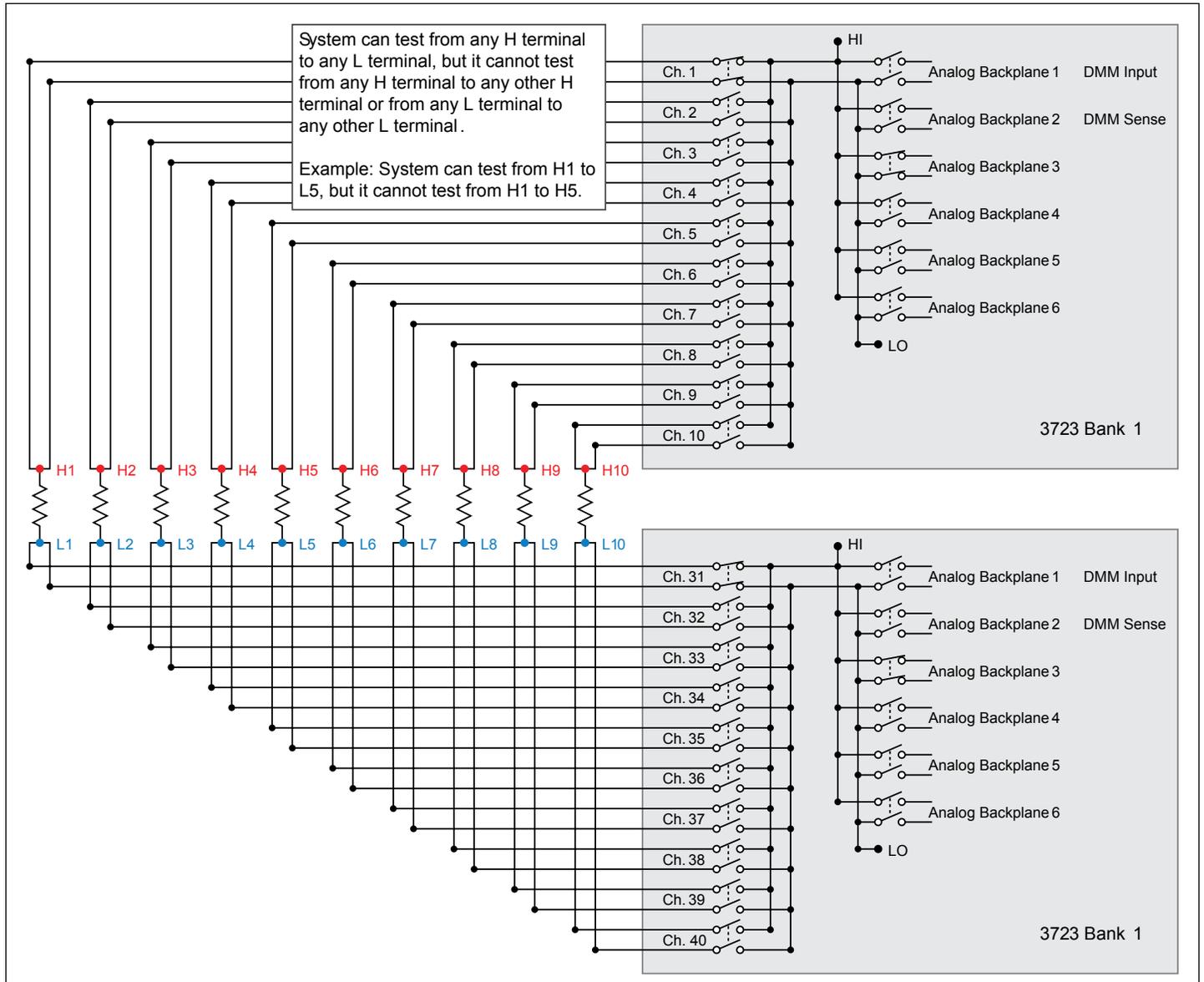


图1 使用多路复用卡进行4线电缆测试连接

对CPU插槽进行低电平接触电阻(LLCR)测试时,首先在插槽中放入中介片,然后对插槽中各针脚之间的电阻进行测量。中介片在多个接触点之间创建一条路径,因此测得的电阻为单个针脚接触电阻之和。接着,按照路径中接触点数量对接触电阻进行平均,就得到平均接触电阻。一般期望每个接触点的接触电阻在17~20mΩ以下。

测试系统设计

由于插槽尺寸和布局不同,而且适合单一插槽的中介片各异,因此期望测试系统能够适应新的探测模式,无需对测试系统手动接线。测试系统应当足够灵活,只需通过编程即可适应新的布局,而且应当提供从插座任意插槽到其他插槽的测试能力。此外,由于涉及到低阻测量,系统必须使用开尔文连接。

源测量单元(SMU)解决方案

实现这类系统的一个方法是使用几个源测量单元(SMU),每个插槽一个源测量单元(SMU),从一个源测量单元(SMU)到另一个源测量单元(SMU)进行测试。不过,由于每个插槽有数百或数千个针脚,这样做成本和空间都不允许。更廉价和更有效的解决方案是对开关硬件和测量仪器进行组合,通过开关连接插槽针脚之间的仪器。

多路复用器解决方案

大部分需要开关的测试系统是可以使用多路复用卡构建的。利用多路复用卡,如吉时利3722型双1×48高密度多路复用卡以及3706A型开关主机模拟底板的某些简单布线,可以建立高密度电缆测试系统。这些系统允许从电缆一端的任意针脚到电缆另一端的任意针脚进行完全4线开尔文测试,具体方法是:将多路复用卡的两组与电缆两端相连,然后进行底板接线,将Bank 1信号相连传输至数字多用表(DMM)HI和感测HI输入端,将Bank 2信号传输至数字多用表(DMM)LO和感测LO输入端。该系统实例参见图1和图2。

从本质上讲,这与插槽针脚测试流程非常相似。不过,这个系统有一个局限,使得它不适合这个具体应用,它不能对电缆同一侧针脚之间的电阻进行测试。例如,对于针脚H1和针脚H5之间电阻进行测试,图1表明,不可能将数字多用表(DMM)HI信号和LO信号同时传输至引脚。在插槽测试系统中,如果需要对系统中任意两个针脚之间进行测试,则这个设置是不够的。

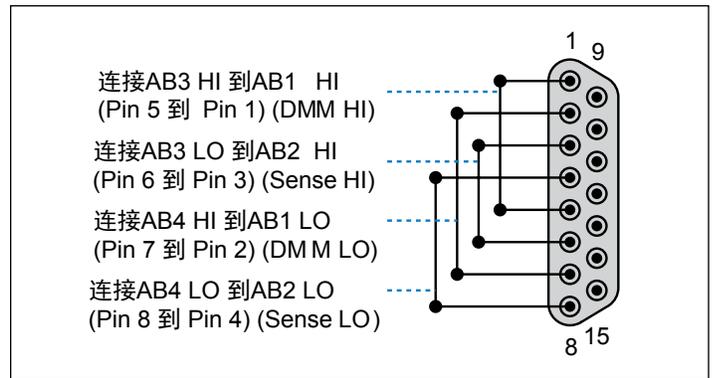


图2 使用多路复用卡进行4线电缆测试底板连接

为了通过多路复用器实现任意针脚到其他针脚的开关能力,则系统中的每个针脚需要一个多路复用器,而且每个多路复用器的通道数量必须与测试系统中的针脚数量一样(减去一个自用的)。例如,如果测试1个40针脚插槽,为了实现从任意针脚到其他针脚的4线开尔文测量,需要40个1×40差分多路复用器。这对应40个3721型双1×20多路复用卡,而且需要7个3706A型主机。但这是不现实的。

矩阵解决方案

低电平接触电阻(LLCR)针脚插槽测试需要具有最大灵活性的开关卡。对此,开关矩阵卡是最恰当不过的。因此,选择吉时利3732型四体4×28单极超高密度矩阵卡。其4行提供4线开尔文连接所需的准确线路数量,单极交叉点提供将每个信号准确传输至用户期望地点的能力。

3732型矩阵卡具有高密度。在前面的例子中使用多路复用器,它需要40个3721型多路复用卡和7台主机,以容纳40插针测试系统,从而具有测试系统所需的灵活性。将3732型矩阵卡配置为4×112矩阵,只需要1台3706A型主机和1个3732型矩阵卡,即可创建同样系统。使用3732型矩阵卡,每卡总共有56个测试插针(每针两列:一列源,一列感测),每个主机总共有336个4线开尔文引脚。(1台主机可容纳高达6个3732型矩阵卡。)此外,由于3706A型系统开关的模拟底板,多卡交叉(以及连接到数字多用表内部)的列数可以进一步扩展,无需外部布线。如果1台主机不够大,只需4根导线将3706A型模拟底板连接在一起连接,就可以扩展主机的列数。这将带来高密度系统,例如,利用不到4台主机即可实现1000针脚测试。

电流源和数字多用表(DMM)的选择

为了实现期望的系统密度,可选择吉时利3732型超高密度簧继电器矩阵卡和吉时利3706A型系统开关/多用表;不过,仍需要测试信号。3706A型仪器包含7位半精密数字多用表(DMM),能够进行4线开尔文电阻测量。3706A型仪器数字多用表(DMM)分辨率高达1μΩ,适合低电平接触电阻(LLCR)测试所需的低毫欧测量。不过,数字多用表(DMM)的问题是进行测量的源电流是固定值。在低值接触电阻测试中,所需电流随着待测器件(DUT)而变化。为了得到真正灵活的系统,最好使用高精密度电流源,提供所需的准确电流。然后,使用数字多用表(DMM)内的伏特计测量电压,并计算电阻。

虽然任何高精密电流源都可用于该应用，但吉时利2612B型数字源表®仪器具有速度最快、使用最简单的特点。2612B型仪器可高精密地源和测量应用所需的电流电平，并使用吉时利TSPLink®技术实现与3706A型仪器的集成。这个硬件组合提供了难以置信的快速和精确测量系统架构。使用TSP-Link和嵌入式测试脚本处理器(TSP®)，可以通过一个脚本来控制2612B型和3706A型开关/数字多用表(DMM)。这样，无需使用外部数字I/O，就可以实现仪器之间的开关、源和测量操作同步。此外，由于TSP-Link和两种仪器的先进触发模型，通过使用扫描，能够以最快速度完成所需的测试。

如果2612B型数字源表®仪器能够履行4线开尔文电阻测量，为什么还需要3706A型开关/数字多用表(DMM)仪器？如果本应用中的待测器件(DUT)电阻较高，那么数字多用表(DMM)可能不是必需的，因为电压级别将较高。不过，3706A型数字多用表(DMM)是必须的，因为其伏特计分辨率比2612B仪器高(7位半vs.5位半)。在低电压级别，2612B型仪器伏特计的分辨率不足以实现期望的高精度，因此利用3706A型数字多用表(DMM)测量待测器件(DUT)电压。

应用详情

因3732型超高密度矩阵卡的架构，本测试系统既灵活又可扩展。这个卡是单极矩阵，能够将任意信号传输至任意针脚。同样的架构还允许系统扩展，通常不需要外部布线，只需选择模拟底板中的继电器即可。

在典型插槽测试中，对于正在测试的任意具体插槽，要测试的针脚通常是预先确定的。3706A型仪器通过使用开关模式，非常适合这个测试。开关模式允许您多个通道，并将其组合在一起，这样模式的开启或关闭将同时开启或关闭这些通道。对于具体测试，用户只需在预先确定的开关模式中进行硬编码，然后在扫描中添加这些模式，以执行测试。在典型测试中，这些模式不包括插槽中的每个针脚。为了演示该测试系统的功率和灵活性，下面说明怎样对系统中每个针脚与其他针脚之间的电阻进行测试。

需要的设备

在这个实例中，假设待测器件(DUT)有56个引脚需要测试。为了完成这个测试，需要以下设备：

- 1部3706A型系统开关/多用表
- 1个3732型超高密度矩阵卡
- 1个3732-ST-C型螺丝端子盒
- 1部2612B型系统数字源表仪器
- 1个3706-BKPL型底板连接器
- 1根TSP-Link型交叉电缆
- 1台PC，包含仪器控制接口

系统连接与配置

通信

在进行测试之前，必须进行连接。为了进行通信，用TSP-Link电缆连接2612B型和3706A型仪器，用GPIB或以太网电缆连接2612B型仪器和计算机，参见图3。不需要额外电缆进行触发，因为这些线路采用TSP-Link。

该系统利用TSP-Link技术，为此必须正确设置仪器。我们2612B型仪器配置为主节点，3706A型仪器则作为辅节点。将2612B配置为TSP-Link节点1，3706A配置为TSP-Link节点2。具体做法是：在每台仪器前面板按压菜单(MENU)按钮，从主菜单中选择TSPLINK；然后从TSPLINK菜单中选择节点(NODE)，对节点数进行配置；最后，按压确认(ENTER)，接受更改。

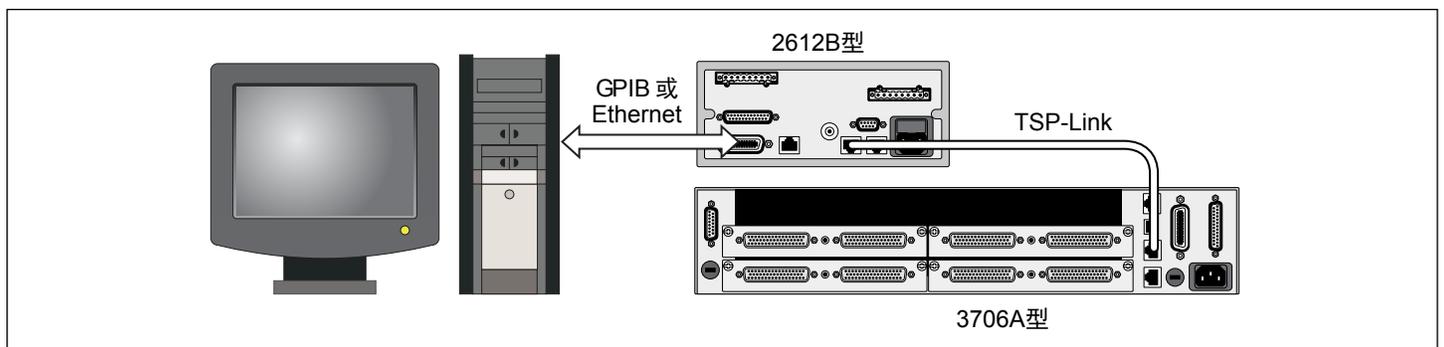


Figure 3. System communications hookup

矩阵配置

接下来，必须对3732型超高密度笛簧继电器矩阵卡进行配置。具体方法是，在3732-ST-C型螺丝接线端子放置一对跳接器。为4×112配置设置跳接器，参见图4。

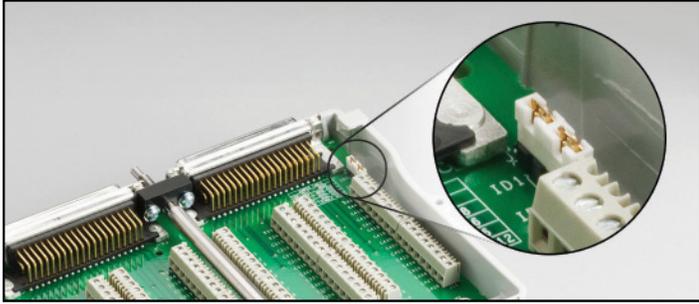


图4 为4×112配置在3732-ST-C型矩阵卡设置跳接器

对信号进行测试

最后，测试信号连接必须通畅。由于3732型矩阵卡的灵活性，这是非常容易的。所需的唯一布线是从3732型矩阵卡到检测针脚，以及从2612B型到3706A型仪器。检测针脚与3732型矩阵卡的列连接。该矩阵卡的相邻列用来测试单一插槽针脚，其中，一列用于源引线，另一列用于检测引线。2612B型仪器通过模拟底板连接器与3706A型仪器相连，这允许2612B型与3732型连接，无论其位于哪个插槽。该连接还支持系统向多插卡的扩展。

最后，测试信号的连接必须挂。由于该模型的3732的灵活性，这是很容易的。唯一所需的线路是从模型3732的探针和从模型到模型的2612B 3706A。探头引脚连接到3732型开关卡柱。卡上的相邻的列将被用来测试一个插座的针脚，一列被用于源铅和用于感导等栏目。该模型2612B通过模拟背板连接器连接到3706A模型，使模型2612B连接到3732型无论是位于槽中。这也支持多个卡系统易于扩展。

3732型超高密度笛簧继电器矩阵卡的设计，使得其行可以与3706A型主机模拟底板相连。这样可以在无需外部布线情况下进行行列扩展，而且能够与3706A型仪器内部数字多用表（DMM）相连。在3732型矩阵卡中，矩阵的每行映射至模拟底板线路。对于本应用中使用的4×112配置，其映射参见表1。

由于3706A型仪器内部数字多用表（DMM）的HI和LO信号与模拟底板1相连，在默认状态下，矩阵的行1和行2用于连接数字多用表（DMM），其行3和行4用于连接2612B型仪器的HI和LO信号。为了便于系统扩展，并没有将2612B型仪器直接与3732型矩阵卡的行3和行4相连，而是将2612B型仪器与3706A型仪器的模拟底板相连。如表1所示，2612B型仪器可以与模拟底板2、4或6连接，因为它们与行3和行4相连。鉴于3706A型仪器内部数字多用表（DMM）4线检测路线与模拟底板2连接，2612B型仪器

表1 4×112配置底板-行映射

| 行 | 模拟底板 |
|---|---------------------|
| 1 | A1 HI, A3 HI, A5 HI |
| 2 | A1 LO, A3 LO, A5 LO |
| 3 | A2 HI, A4 HI, A6 HI |
| 4 | A2 LO, A4 LO, A6 LO |

可连接至模拟底板4或6，以确保3706A型仪器内部数字多用表（DMM）不会给电路带来干扰或负载。在本例中，我们使用模拟底板4，详见图5。

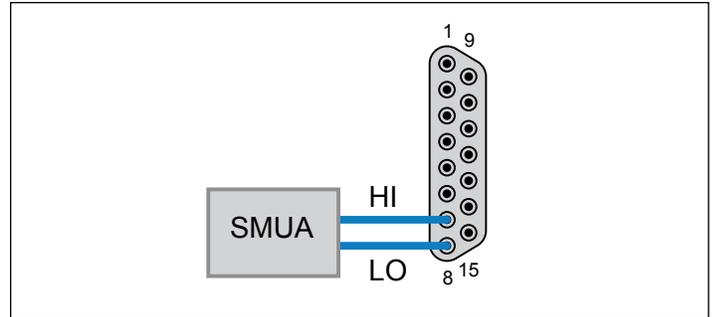


图5 通过模拟底板D-Sub连接器，实现2612B型数字源表仪器与模拟底板4的连接

测试仪器连接至行，测试插针相连至列。由于每个测试针脚都采用开尔文连接，因此每个测试针脚都要求有两个列与之相连，一个用于源信号，一个用于检测信号。为了简化布线和通道映射，相邻列应当用来创建测试针脚的源-检测配对。例如，列1和列2应当连接至测试针脚1的源和检测引线，列3和列4应当连接至测试针脚2的源和检测引线。以此类推，因为这是系统中很多测试针脚所需要的。

图6给出具体连接。注意，对系统进行扩展时，应当在整个系统、插卡和主机保持这个模式。

测试序列

插槽的每个测试都在两个测试针脚之间进行。这些测试针脚之一作为待测器件的HI端，另一个则作为LO端。这意味着必须将测试仪器的HI源和检测线路连接至一个测试针脚，将LO源和检测线路连接至另一个测试针脚。为此关闭4个交叉点，如图7所示。

在这个配置中，只需固定一个针脚的HI信号，并对其他所有针脚的LO信号进行扫描，即可实现对一个针脚与其他所有针脚之间的测试。然后，将HI信号移至下一个针脚，重复对其他所有针脚LO信号扫描。重复上述过程，直到每个针脚都测试完毕，参见图8、图9和图10。

这些图说明测量路径以及测试中每个步骤必须关闭的继电器。通过浏览图8、图9和图10，您可以看到在固定模式下，每个测试步骤关闭的继电器；每个步骤涉及两列。这给出通道映射到写入代码的简单模式。

触发模型的设置

3706A型系统开关/多用表和2612B型系统数字源表仪器都包括先进触发模型，以实现开关和源测量单元（SMU）操作的严格定时和同步。利用这些特性，可对测试进行配置，使之尽快运行，而且无需担心其不同步。附录A中的脚本利用触发模型实现3706A型和2612B型仪

器扫描之间的同步。图11给出该测试的触发模型。由于新手对触发模型可能发憊，该脚本还包括一个测试版，它是完全通过脚本操作编写的，而且不使用触发模型。

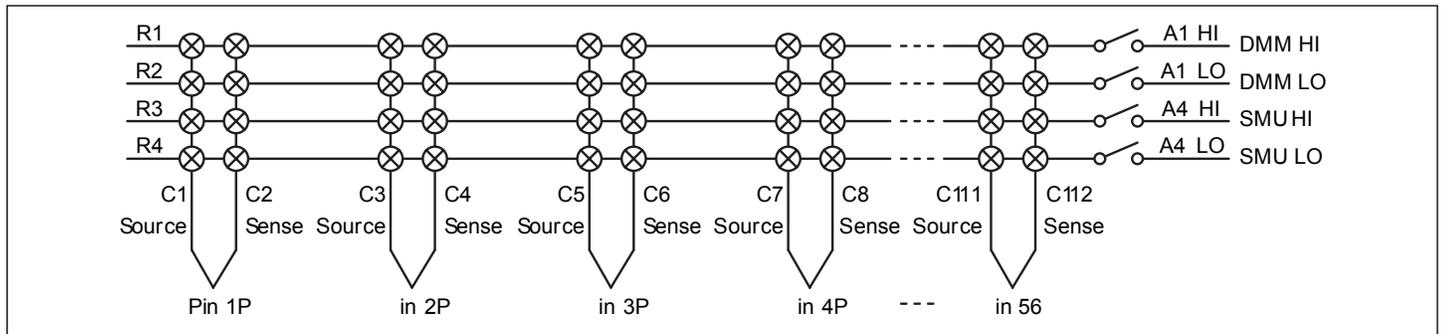


图6 列-引脚映射

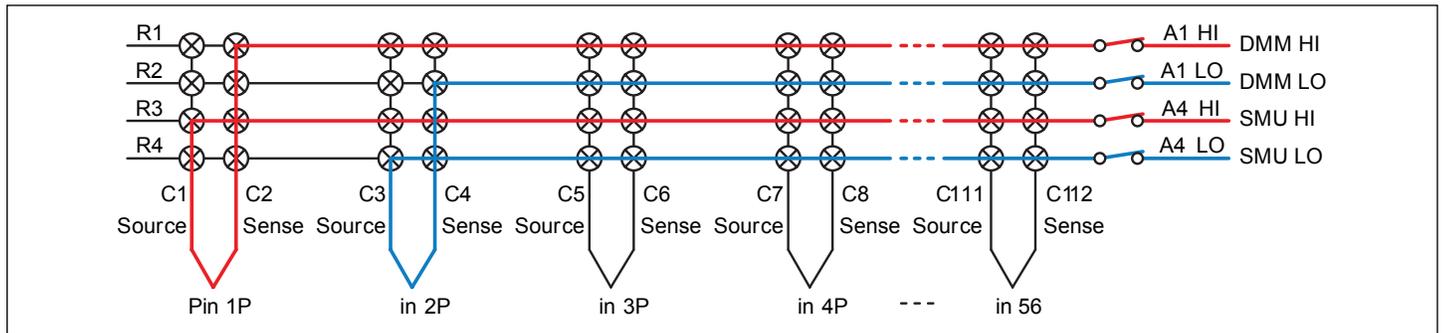


图7 关闭这些交叉点，对引脚1到引脚2进行测试

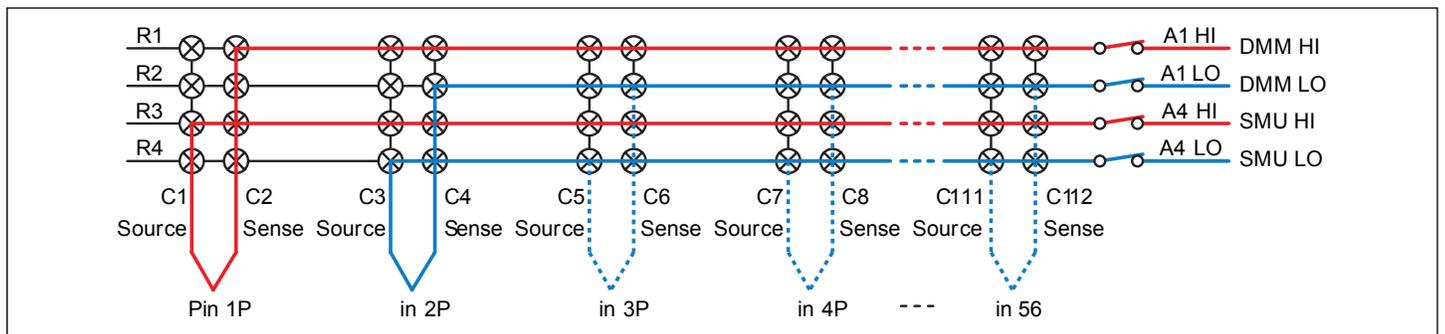


图8 从引脚1到每个引脚进行测试

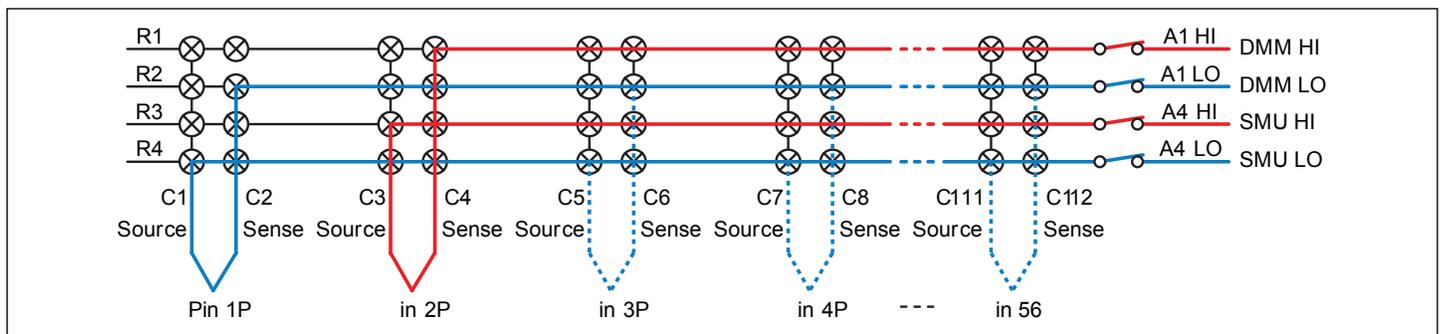


图9 从引脚2到每个引脚进行测试

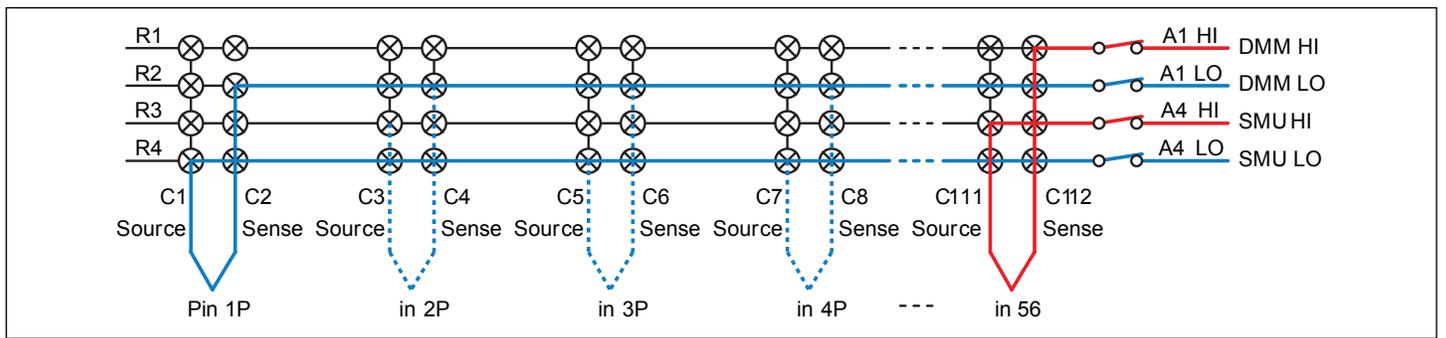


图10 从引脚56到每个引脚进行测试

通过使用触发模型，可以省去与处理器脚本指令有关的开销，从而大幅缩短测试所需的时间。在本测试中，对56针脚共计测试3136个测试点。将所有自动功能关闭并将NPLC设置为0.1，本测试中脚本测试执行时间是18.261秒，相当于测试速率是171.73通道/秒。使用触发模型进行相同测试时，测试执行时间是9.517秒，相当于测试速率329.52通道/秒；测试速率提高91.9%。如果将NPLC设置得更高，则改进不明显，因为同指令处理开销相比，测量本身成为巨大的延迟根源的。在NPLC设置较低时，得到的改进最明显。

运行测试

本系统测试是通过使用测试脚本和吉时利测试脚本构建器(TSB)软件进行的。不过，如果使用以太网接口，那么可以使用嵌入式测试脚本构建器(TSB)。在附录A中，可以看到这个脚本的源代码。

附录A中的脚本是为在3706A型主机插槽1中使用3732型矩阵卡而设计的。它利用3706A型固件1.40版本引入的ICL新指令，因此固件版本要求在1.40e以上。

为了简化测试设置，待测器件(DUT)是2英寸长的标准计算机带状电缆而不是实际针脚插槽。这提供了一个低电阻待测器件(DUT)，而且不需要针脚探针，因为电缆很容易直接连接到3732-ST-C型螺丝端子盒。根据图6中的列-针脚映射，4×112配置可以提供56个测试针脚。电缆中的每条线路需要测试两个针脚，它们分布在线路两端，因此利用3732型矩阵卡可以测试电缆中的28条线路。对于这个测试，电缆一端将连接至针脚1~针脚28，另一端将连接至针脚29~针脚56。由于待测器件(DUT)采用这种方式连接，在搜集的数据中将出现一个清晰的模式，证明了测试系统所具有的灵活性。

该系统测试脚本的设计旨在使用简单，用户只需调用一个功能即可运行测试。调用measRngV, pins)即可启动测试。对于定制测试，PinTestScan()有3个参数。

- srcLevel 测试期间提供的电流电平，单位安培
- measRngV 测试期间的测量量程，单位伏特
- pins 测试的针脚数量，为1~56中的任意值

为了运行这个测试，连接至测试脚本构建器(TSB)中的2612B型系统数字源表仪器，并下载脚本。在本例中，srcLevel设置为5mA，measRngV设置为100mV，针脚数为56。在仪器操控台窗口，输入PinTestScript(5e-3, 0.1, 56)，然后按确认。测试将运行，直到每个针脚测试完毕。通过这些设置，将对全部56个针脚的3136个测试点进行测试。

分析结果

搜集到的数据经过格式化后，可以从仪器操控台窗口直接拷贝，并粘贴到Microsoft® Excel®电子数据表。完成粘贴后，数据将以表格形式出现，56行×56列。每行代表HI针脚的位置，每列代表LO针脚的位置。这样，便于用户发现测得的任意两个针脚之间的电阻值。例如，如果您想知道电缆中线路2的电阻，你就知道这个电缆的一端是针脚2，另一端是针脚30。只需看一下行2和列30，即可知道测得的电阻值。

数据粘贴至Excel，突出显示所有数据。从格式化(Format)菜单选择“条件格式化”(Conditional Formatting)...条件格式化窗口将打开。根据您的颜色，添加突出显示的规则，数值在-1和1之间。如果测得的电阻值非常小，则数据显示将突出。点击OK，接受格式化。附录B给出搜集的格式化数据。

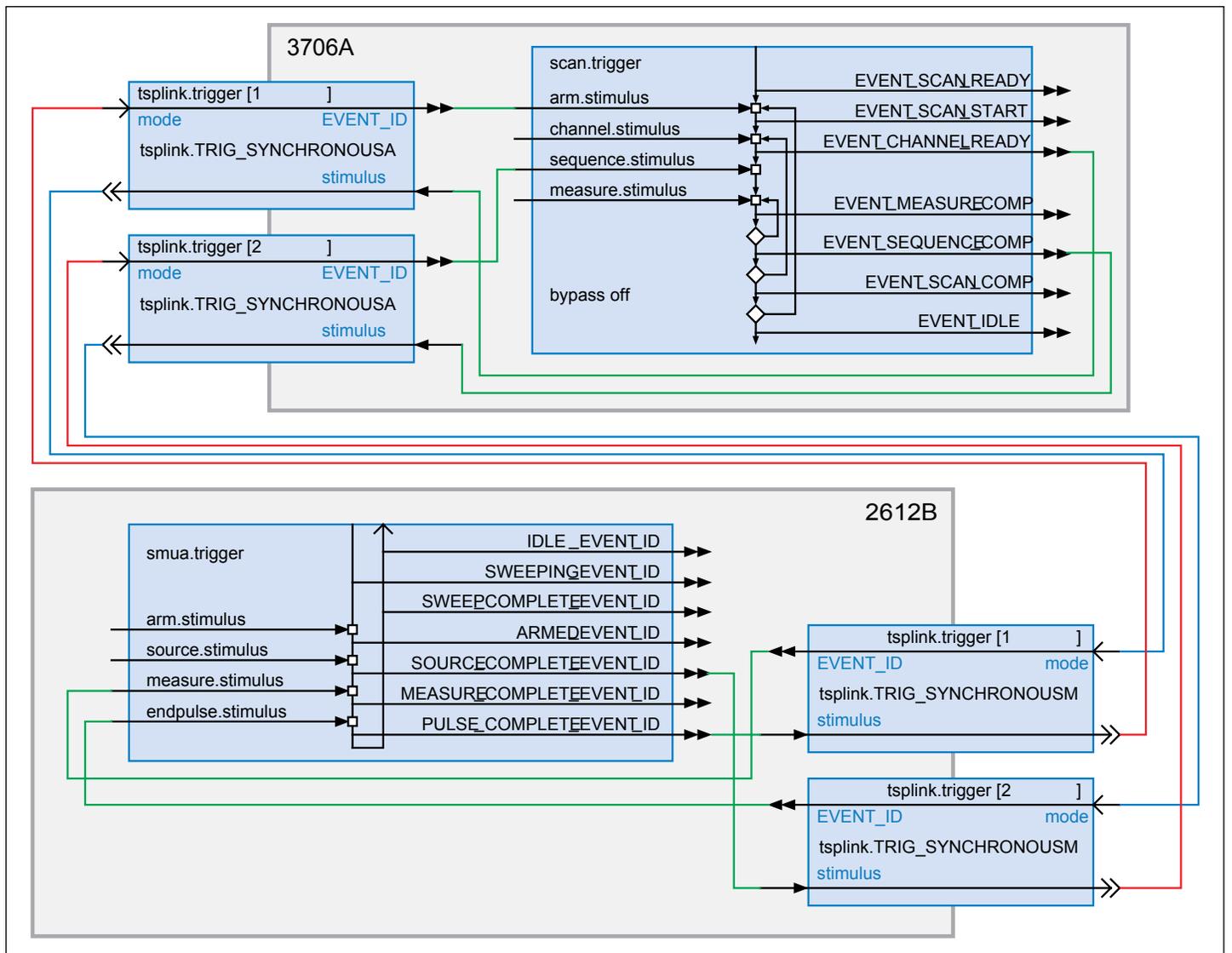


图11 实现3706A型与2612B型仪器同步操作的触发模型

注意，突出显示数据中出现的模式，以及突出的行和列。如附录B所示，数据突出显示的条件只有两个：当HI和LO针脚处于电缆同线路的端点，或者当它们处于同一针脚。

在电子数据表右上方突出显示的测量结果是从电缆一端到另一端的测量结果。在电子数据表左下方突出显示的测量结果也是从电缆一端到另一端的测量结果，不过，HI和LO针脚与电缆两端方向相反。在中间部分突出显示的测量结果是处于同一针脚的HI和LO针脚之间电阻。

右上角和左下角的测量的是同一待测器件（DUT），只是方向相反，期望测量的电阻值接近它们。测量阻值的误差是由于热偏移引起的。由于测量的电压非常低，因此热偏移对测量结果影响较大。不过，由于热偏移只影响一个方向，我们可以消除这些影响，方法是：在两个方向进行测量，对两个读数进行平均，即可得到真实电阻值。这通常称作delta模式测量。

其他数据没有突出显示，表明电阻值较高。这是有意义的，因为对于大多数任意两个针脚，它们之间不存在导电路径，因此其电阻非常高。这项测试的结果是，不仅测量电缆线路的电阻，而且给出针脚之间的隔离。

结束语

当今集成电路引脚数量庞大，针脚插槽接触电阻测试给测试系统带来一定挑战。既不填充整个测试机架，又要保持测试方式和地点的灵活性，在这种前提下构建具有足够密度、可对整个插槽进行测试的系统可能非常困难。通常有可能创建提供必要能力的系统，但需要使用过于复杂的通道模式进行连接。这使得系统不仅使用困难，而且很难扩展到大规模应用。目前，吉时利3732型矩阵卡等新型高密度矩阵卡的问世，使得这个问题迎刃而解。这些矩阵卡带来最大的灵活性和最高的密度，而且不影响易用性和扩展性。它们将在下一代测量和测试应用中发挥重要作用。

参考文献

1. Edward M. Bock, Jr., "Low Level Contact Resistance Characterization," AMP Journal of Technology Vol. 3 November, 1993
2. Intel Corporation, "Intel® Pentium® 4 Processor 478-Pin Socket (mPGA478)," Design Guidelines, October 2001

附录A

3732型矩阵卡应用笔记脚本.tsp

--[[

题目: 3732矩阵卡应用笔记测试脚本

作者: 吉时利公司应用部

简介: 本脚本旨在利用3706A型系统开关、3732型矩阵卡以及2600B系列源测量单元 (SMU) 进行针脚测试。这个脚本将扫描针脚, 对一个针脚与其他所有针脚之间的电阻进行测量。然后, 从下一个针脚重复上述过程, 直到完成每个针脚与其他所有针脚之间的电阻测量。

该脚本要求将型矩阵卡配置为一个4×112矩阵, 并将其插入3706A型主机的第一个插槽。脚本要求通过3706A型主机背板的底板连接器, 将2600B系列源测量单元 (SMU) 的Hi和Lo引线模拟底板4进行连接。

硬件要求:

1台2600B系列数字源表仪器

1台3706A系统开关/多用表

1个3723四组4×28矩阵卡, 配置为4×112矩阵

1个3732-ST-C型列扩展螺丝端子

固件版本:

3706A: 1.4

26XXB: 2.1.1

修订历史:

REV 1.0.0, 3/18/2010

修改: 吉时利公司应用部

原始版本

]]--

- 本功能对针脚进行全面测试, 而且不使用3706A型系统开关和2600B系列源测量单元 (SMU) 的先进触发模型。

```
function PinTestScript(srcLevell, measRngV, pins)
    if (srcLevell == nil)          then srcLevell    = 1e-3    end
    if (measRngV == nil)         then measRngV     = 0.1     end
    if (pins == nil)             then pins         = 56      end

    InitializeTSP()              -- Initialize the TSP-Link network

    reset()                      -- reset 2600B
    ke3706.reset()              -- reset 3706A

    -- 配置数字多用表 (DMM)
    ke3706.dmm.func              = ke3706.dmm.DC_VOLTS
    ke3706.dmm.autorange        = 0
    ke3706.dmm.range            = measRngV
    ke3706.dmm.nplc             = 1
    print("DMM Settings Configured")

    -- 配置源测量单元 (SMU)
    smua.reset()
    smua.source.func            = smua.OUTPUT_DCAMPS
    smua.source.aurangei        = 0
    smua.measure.aurangei       = 0
```

```

smua.measure.autorangev          = 0
smua.source.rangei                = srcLevell
smua.measure.rangei              = srcLevell
smua.measure.nplc                 = 1
print("SMU Settings Configured")

-- 为数字多用表 (DMM) 创建读取缓冲区
rbuf                               = ke3706.dmm.makebuffer(pins*pins)
rbuf.clear()
rbuf.appendmode                    = 1

-- 配置源测量单元 (SMU) 读取缓冲区
smua.nvbuffer1.clear()
smua.nvbuffer1.appendmode         = 1
print("Reading Buffers Ready")

-- 开始测试
print("Test Running...")
display.clear()
ke3706.display.clear()
display.settext("Test in Progress!")
ke3706.display.settext("Do NOT Disturb!")
smua.source.output = 1

for i=1,pins do                    -- HI Pin
    for j=1,pins do                -- LO Pin
--
        print(string.format("From:\t%d\tTo:\t%d", i, j))
        chList = ke3706.channel.createspecifier(1,1,1,2*(i-1)+2) .. ',' .. ke3706.channel.
createspecifier(1,1,3,2*(i-1)+1) .. ',' .. ke3706.channel.createspecifier(1,1,2,2*(j-1)+2) .. ',' .. ke3706.channel.
createspecifier(1,1,4,2*(j-1)+1) .. ',' .. 10911,10914"
        ke3706.channel.exclusiveclose(chList)
        smua.source.leveli          = srcLevell
        delay(500e-6)                -- Let the source settle for 500 microseconds
        smua.measure.overlappedi(smua.nvbuffer1)
        ke3706.dmm.measure(rbuf)
        waitcomplete()
        smua.source.leveli          = 0
    end
end
-- HI Pin

smua.source.output = 0
print("Test Complete")
display.screen                    = 0
ke3706.display.screen            = 1

-- 打开背板继电器
ke3706.channel.open("allslots")

-- 打印回读数据
x = 1
for i=1,pins do
    line = ""
    for j=1,pins do
        line = line .. rbuf[x]/smua.nvbuffer1[x] .. '\t'
        x = x + 1
    end
    print(line)
end
end

-- 本功能利用3706A型系统开关和2600B系列源测量单元 (SMU) 仪器的扫描对针脚进行
-- 测试, 并利用仪器触发器模型实现其同步。
function PinTestScan(srcLevell, measRngV, pins)
    if (srcLevell == nil)          then srcLevell    = 1e-3    end
    if (measRngV == nil)          then measRngV     = 0.1     end
    if (pins == nil)              then pins         = 56      end

    InitializeTSP()                -- Initialize the TSP-Link network

    reset()                        -- reset 2600B
    ke3706.reset()                 -- reset 3706A

```

```

ke3706.scan.reset()          -- Clear the scan list

-- 为扫描创建数字多用表（DMM）配置
ke3706.dmm.func              = ke3706.dmm.DC_VOLTS
ke3706.dmm.autorange        = 0
ke3706.dmm.range            = measRngV
ke3706.dmm.nplc             = 1
ke3706.dmm.configure.set("PinTestConfig")
print("DMM Settings Configured")

-- 配置源测量单元（SMU）
smua.reset()
smua.source.func            = smua.OUTPUT_DCAMPS
smua.source.aurangei       = 0
smua.measure.aurangei     = 0
smua.measure.aurangev     = 0
smua.source.rangei        = srcLevell
smua.measure.rangei       = srcLevell
smua.source.delay         = 500e-6          -- Set a source delay to allow signal to
settle
print("SMU Settings Configured")

-- 配置触发模型
-----
-- 配置3706A触发模型
-----
ke3706.tsplink.trigger[1].mode          = ke3706.tsplink.TRIG_SYNCHRONOUS
ke3706.tsplink.trigger[1].stimulus      = ke3706.scan.trigger.EVENT_CHANNEL_READY
ke3706.tsplink.trigger[1].clear()

ke3706.tsplink.trigger[2].mode          = ke3706.tsplink.TRIG_SYNCHRONOUS
ke3706.tsplink.trigger[2].stimulus      = ke3706.scan.trigger.EVENT_SEQUENCE_COMP
ke3706.tsplink.trigger[2].clear()

ke3706.scan.trigger.channel.stimulus    = ke3706.tsplink.trigger[1].EVENT_ID
ke3706.scan.trigger.channel.clear()

ke3706.scan.trigger.sequence.stimulus  = ke3706.tsplink.trigger[2].EVENT_ID
ke3706.scan.trigger.sequence.clear()

ke3706.scan.bypass = 0
-----
print("3706A Trigger Model Configured")

-- 配置2600B触发模式
-----
tsplink.trigger[1].mode                 = tsplink.TRIG_SYNCHRONOUS
tsplink.trigger[1].stimulus             = smua.trigger.PULSE_COMPLETE_EVENT_ID
tsplink.trigger[1].clear()

tsplink.trigger[2].mode                 = tsplink.TRIG_SYNCHRONOUS
tsplink.trigger[2].stimulus             = smua.trigger.SOURCE_COMPLETE_EVENT_ID
tsplink.trigger[2].clear()

smua.trigger.source.linear(srcLevell, srcLevell, 2)          -- Config Linear Sweep V
smua.trigger.source.limitv              = 1
smua.trigger.measure.action            = smua.ENABLE
smua.trigger.measure.i(smua.nvbuffer1)
smua.trigger.endpulse.action           = smua.SOURCE_IDLE
smua.trigger.endsweep.action           = smua.SOURCE_IDLE
smua.trigger.count                     = pins*pins
smua.trigger.arm.stimulus               = 0
smua.trigger.source.stimulus           = tsplink.trigger[1].EVENT_ID
smua.trigger.measure.stimulus          = 0
smua.trigger.endpulse.stimulus         = tsplink.trigger[2].EVENT_ID
smua.trigger.source.action             = smua.ENABLE          -- Turn on sweeps
-----
print("26XXB Trigger Model Configured")

-- 建立A扫描清单
_*****

```

- 扫描中的每个步骤都需要关闭多个交叉点，以完成仪器与测试针脚之间的
- 连接。具体做法是：创建模式，然后利用scan.add()扫描指令，将模式添加
- 到扫描添加模式。不过，由于模式内存有限，不必将这些模式保存，因为
- 它们很容易生成，我们将使用scan.adimagestep()。

```

print("Building Scan List...")
for i=1,pins do
    for j=1,pins do
        -- HI Pin Loop
        -- LO Pin Loop
        chList = ke3706.channel.createspecifier(1,1,1,2*(i-1)+2) .. ',' .. ke3706.channel.
createspecifier(1,1,3,2*(i-1)+1) .. ',' .. ke3706.channel.createspecifier(1,1,2,2*(j-1)+2) .. ',' .. ke3706.channel.
createspecifier(1,1,4,2*(j-1)+1) .. ',' .. ke3706.channel.createspecifier(1,1,1,10911,10914)

        ke3706.scan.addimagestep(chList, "PinTestConfig")

        if (errorqueue.count > 0) then
            print("Error while configuring scan. Exiting test.")
            exit()
        end
    end
end
end
--*****
-- 建立扫描清单结束

print(string.format("Scan List built. Scan has %d steps.", ke3706.scan.stepcount))
collectgarbage()

-- 为扫描创建读取缓冲区
rbuf = ke3706.dmm.makebuffer(ke3706.scan.stepcount)
rbuf.clear()
rbuf.appendmode = 1

-- 配置源测量单元 (SMU) 读取缓冲区
smua.nvbuffer1.clear()
smua.nvbuffer1.collectsourcevalues = 1
smua.nvbuffer2.clear()
smua.nvbuffer2.collectsourcevalues = 1
print("Reading Buffers Ready")

-- 启动扫描
-----
print("Running Scan")
display.clear()
ke3706.display.clear()
display.settext("Test in Progress!")
ke3706.display.settext("Do NOT Disturb!")
smua.source.output = 1

ke3706.scan.background(rbuf) -- Initiate the 3706A trigger model
smua.trigger.initiate() -- Initiate the 2600B trigger model

delay(0.1) -- Give the trigger models a little time to
synchronize
tsplink.trigger[1].assert() -- This trigger puts the scan in motion
waitcomplete()

smua.source.output = 0
print("Scan Done")
display.screen = 0
ke3706.display.screen = 1

-- 打开背板继电器
ke3706.channel.open("allslots")

-- 打印回读数据
x = 1
for i=1,pins do
    line = ""
    for j=1,pins do
        line = line .. rbuf[x]/smua.nvbuffer1[x] .. '\t'
        x = x + 1
    end
    print(line)
end

```

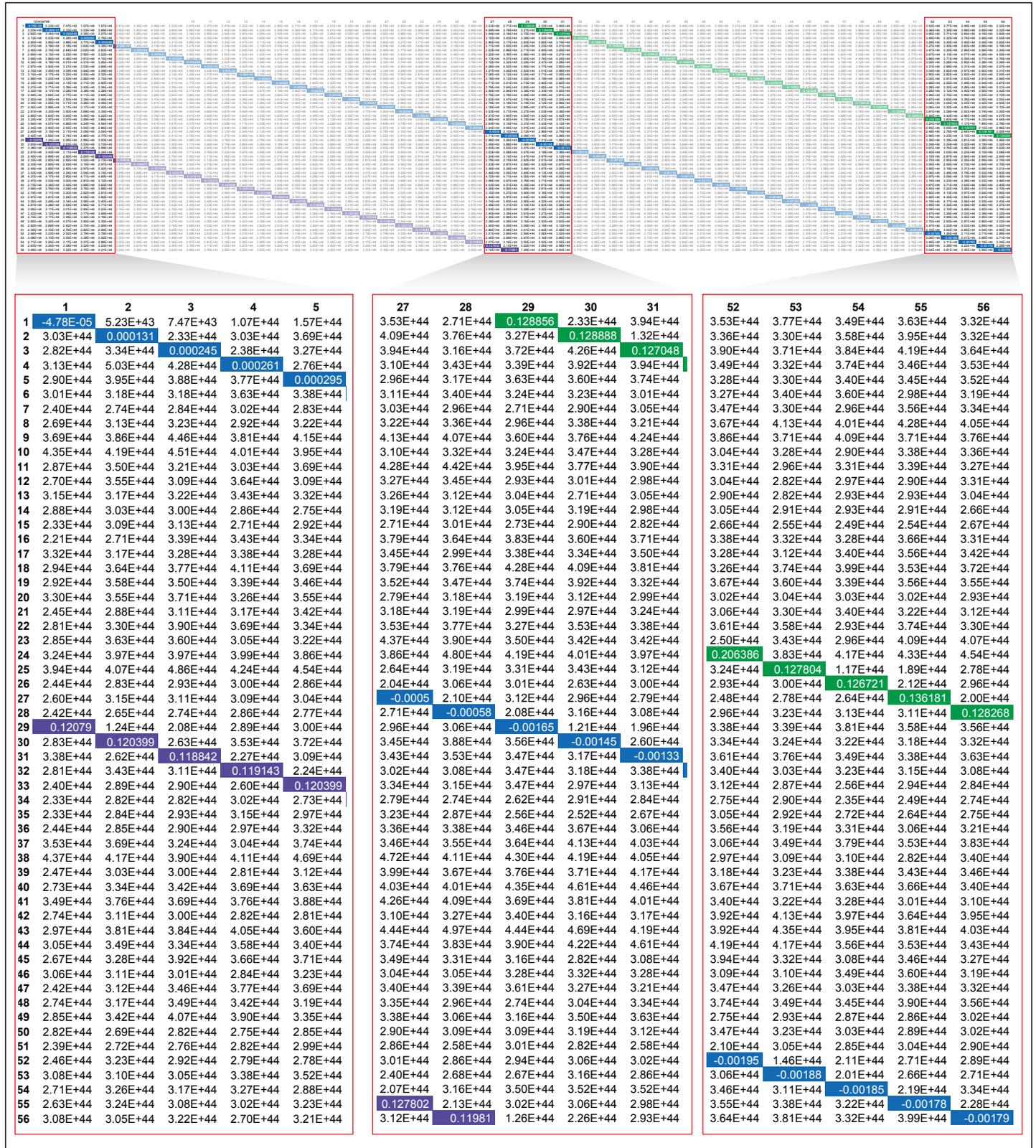
```
end
end
```

-- 本功能为脚本初始化TSP网络，并为3706A的InitializeTSP()功能
创建一个别名。

```
errorqueue.clear()
if (tsplink.state ~= "online") then
    tsplink.reset(2)

    if (errorqueue.count > 0) then
        print(errorqueue.next())
        exit()
    end
end
ke3706 = node[2]          -- Create Alias
end
```

附录B：样本测试期间搜集的数据



本图给出在28号导体电缆测试中使用的56个针脚中每个针脚之间的电阻值。针脚1~针脚28与电缆导体的一端相连，针脚29~针脚56则与电缆导体的另一端相连。图中的列表表示HI测试针脚的位置，行表示LO测试针脚的位置。阴影数据表示测量的针脚间电阻低。

- A. 该颜色阴影数据表示每个导体电缆两端之间的电阻。
- B. 该颜色阴影数据电阻值低，因为HI和LO测试针脚是同一针脚。所给出的数值实际上是开关卡中内部布线电阻的测量结果。
- C. 该颜色阴影数据同样表示每个导体电缆两端的电阻。不过，电流流经导体的方向相反，因为HI和LO针脚位置交换了。注意C部分的阻值与A部分的相应阻值不同。这是因为测量中的热偏移。为了得到导体的真实阻值，必须对C部分的测量阻值与A部分的相应测量阻值进行平均。

高可靠性 电源测试

简介

电源的可靠性必须与其所在系统的其他部分相匹配或胜过它们。通常，这要求通过快速生产测试，对重要参数进行准确的特性分析。

确保电源可靠性

为了确保可靠性，电源制造商要对电源产品进行广泛的测试。有时候，测试涉及老化测试或加速应力测试，以剔除早期失效产品[1]。无论如何，典型测试包括：交流波纹、直流电压电平、温度、交流电压和连续性。

测试时，可以使用单独仪器对这些测试参数分别测试，但速度更快、费效比更高的方法是使用1部仪器对所有参数进行测量，其前提是，有一种方法可能容易且迅速地切换不同的测量点和功能。下面介绍一个介于二者之间、既实用又具有高费效比的解决方案。

测试设备问题

实际考虑排除在生产期间实用一部仪器对所有所需的电源参数进行测量。这种情况要求一个开关矩阵和多台测量仪器。然而，处于成本考虑，包括资本支出、集成、操作和维护费用，仪器数量应当尽量少。由于测量和切换的信号范围宽，必须认真选择测试系统部件，把成本降到最低，同时确保测试高精度及测试系统吞吐量。

另一个重要考虑是开关矩阵中信号路径的带宽，因为开关矩阵负责多台测量仪器与待测器件（DUT）的连接。对电源进行的一项测试是直流输出的交流波纹。由于谐波的存在，波纹频率可能高达几兆赫级别。在具有快速瞬态响应的电源中，反馈回路的相位裕量和输出稳定性（包括较短上升时间的负载变化）可能是生产期间的检测重点。这也需要较宽的信号路径。

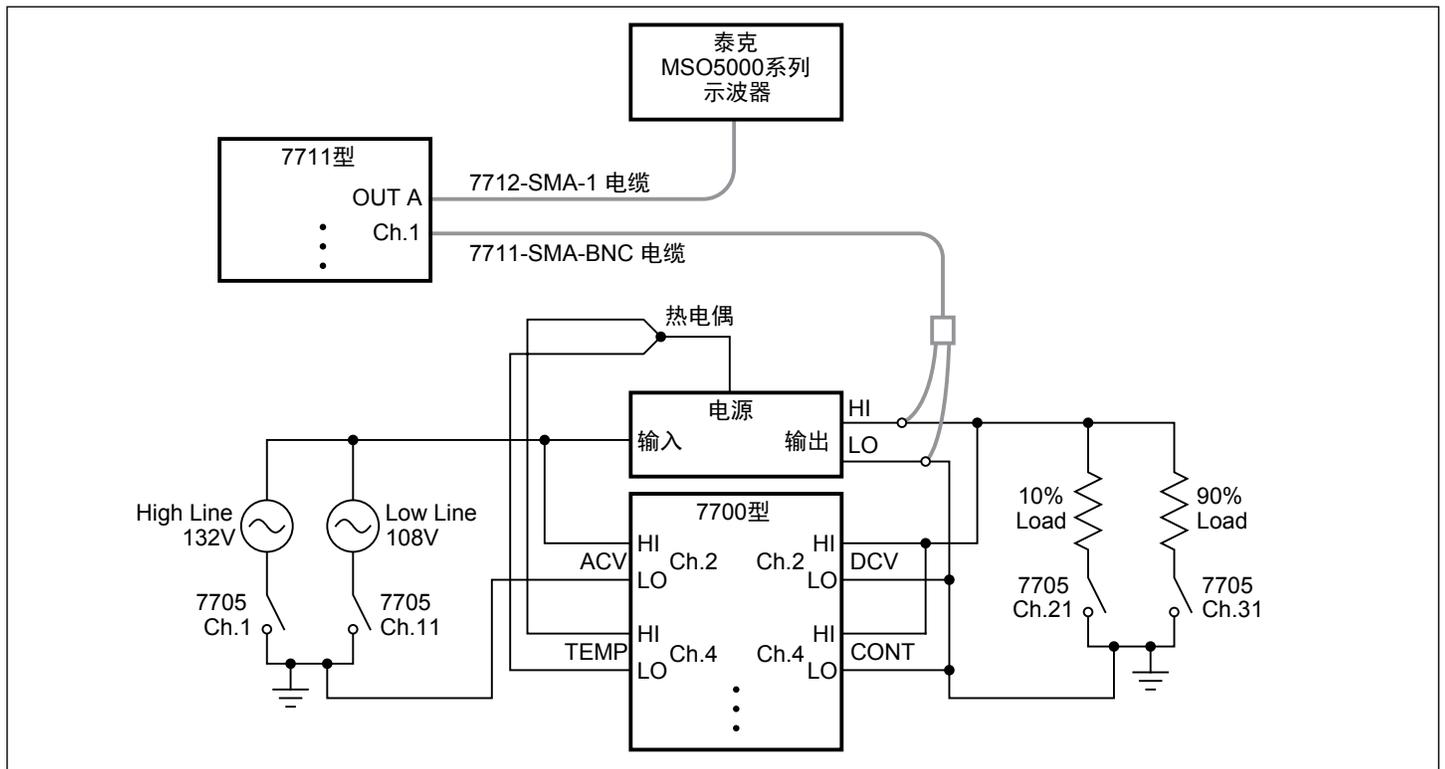


图1 直流电源测试图。这里只给出1个电源，使用额外通道实现多个电源与测量仪器的连接

当然，对于任何生产环境来说，高测试吞吐量都是非常重要的。为了最大限度地缩短测试时间，制造商往往只对测试序列结束时的通过/失效标示感兴趣。在生产测试期间可能记录具体参数值，但不做分析。

测试配置

下面介绍在不同负载条件和交流电压下进行基本电源测试的系统实例和技术，即：

- 测量电源的交流输入电压
- 测量直流输出及其AC RMS噪声电压
- 测量ACp-p噪声(波纹)
- 对测试箱温度及散热片温升进行测量

为了验证信号路径完整性，在进行电源测量之前，要通过辅助测试对电缆连续性进行测量。

图1给出测试系统实例的简化电路图。除了待测器件(DUT)(电源)以外，该配置中只有3个要素。PC机执行测试程序，并控制另外两个测试设备，它们是高分辨率数字多用表(DMM)/数据记录系统，包括用于开关模块的扩展插槽，这是主要的数据采集设备。PC机控制的示波器则对电源输出交流波纹进行测量。

这个测试配置把仪器用量降到最少，有助于确保精度、节省机架空间，便于连线。

数字多用表(DMM)扩展插槽中安装的开关模块，其带宽高达2GHz，实现插入损耗最低和AC交流波纹信号路径中的低信号反射。低损耗电缆用于电源、开关模块和示波器的连接(参见图1)。

对电源制造商来说，对波纹进行精确测量非常重要，因为他们努力将这个参数降到最小。

吉时利2700型或2750数字多用表(DMM)/数据采集/开关系统，都可以用于这个测试配置，具体取决于测试箱中待测器件(DUT)数量和所需的通道数量。(2700型仪器包括2个插槽供开关模块使用，2750型仪器包括5个插槽，提供高达200个不同的测量通道。)这两种仪器都可以利用其限幅功能提供快速的通过/失效测量，以检测测得参数的可接受程度。它们还允许对每个通道设置不同的限幅数值，这是非常有益的，因为同时测量几个参数。对于本实例，我们在2750型仪器插槽中使用以下3个开关模块：

1. 7700型20通道差分多路复用模块，具有自动冷端补偿(CJC)功能。该模块可实现直流电压、交流电压、2线电阻(电缆连续性)和热电偶温度测量切换。

2. 该模块中的7711型2GHz带宽/50欧姆射频开关模块用于(在电源直流电压输出中的)高频波纹信号。
3. 7705型40通道控制模块。该模块用于切换负载和控制每个电源的交流输入电压。

在这个实例中，可以测量的电源最大数量是4个。如果使用更多矩阵卡和/或2750型数据采集系统，则可以测试更多的待测器件(DUT)。图1给出对其中一个待测器件(DUT)进行不同测试时需要开启和关闭的切换通道。

测试程序

对于每个测量功能，必须在2750型仪器上进行预先配置，包括具体测试的测量类型、范围、积分速率、滤波器及其他参数。至于温度功能，必须对热电偶类型、参比端等进行配置。

第一步是对测试系统电缆电阻进行测量，以验证正确连接。然后，在不同的负载和线路条件下，对电源输出电压进行测量，以验证其保持在指定限幅以内。改变输入交流线路电压并测量，确保对于输入变压器而言，其在指定的限制范围以内。

为了获得工作条件范围以及老化期间的热量上升数据，应对电源温度进行监测。同样，这必须在指标范围内进行。温度和AC交流噪声测量都由示波器完成。

测试顺序安排也非常重要。通常，采用以下顺序对电源逐渐增加测试应力。

1. 检查每根电缆的连续性，确保其正确连接。
2. 利用10%负载，在电源线路电压下限对输入交流电压进行测量。
3. 测量电源的直流电压输出和交流噪声有效值。
4. 通过示波器测量交流电压噪声峰值。
5. 对测试箱和电源的输出半导体散热片温升进行测量。
6. 对于以下情况，重复步骤2~5:
 - a. 10%负载和电源线路电压上限。
 - b. 90%负载和电源线路电压下限。
 - c. 90%负载和电源线路电压上限。

通过对2750型开关模块通道闭合的配置，可以控制测试顺序。每个测量功能都具有独特的通道闭合组合。例如，利用以下通道闭合，可以对交流高压线路和10%负载的电源输出进行测量。(关于通道数量，参见图1和表1)。

HI交流电线电源(7705型通道1)
 直流电压输出(7700型通道1)
 10%负载(7705型通道21)

然后,对同一负载进行交流低压测试,关闭以下通道:

LO交流电线电源(7705型通道11)
 直流电压输出(7700型通道1)
 10%负载(7705型通道21)

表1给出对一个电源进行每项测试时通道闭合的完整清单。通常,对每个电源要切换9个通道:

- 7705型仪器4个通道
 - 2个通道用于交流电压(HI和LO线路)。
 - 2个通道用于负载(10%和90%)。
- 7700型仪器4个通道
 - 1个通道用于直流电压输出信号。
 - 1个通道用于至2750型仪器的交流电压输入。
 - 1个通道用于温度测量。
 - 1个通道用于2线电阻测量。
- 7711型仪器1个通道,用于交流波纹测试。

表1 开关模块通道闭合分配

| 功能 | HI线路 10%负载 | HI线路 90%负载 | LO线路 10%负载 | LO线路 90%负载 |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 直流电压 | 7705 CH1 7700 CH1 7705 CH21 | 7705 CH1 7700 CH1 7705 CH31 | 7705 CH11 7700 CH1 7705 CH21 | 7705 CH11 7700 CH1 7705 CH31 |
| 交流电压 | 7705 CH1 7700 CH2 7705 CH21 | 7705 CH1 7700 CH2 7705 CH31 | 7705 CH11 7700 CH2 7705 CH21 | 7705 CH11 7700 CH2 7705 CH31 |
| 温度 | 7705 CH1 7700 CH4 7705 CH21 | 7705 CH1 7700 CH4 7705 CH31 | 7705 CH11 7700 CH4 7705 CH21 | 7705 CH11 7700 CH4 7705 CH31 |
| 2Ω电阻 | 7705 CH1 7700 CH3 7705 CH21 | 7705 CH1 7700 CH3 7705 CH31 | 7705 CH11 7700 CH3 7705 CH21 | 7705 CH11 7700 CH3 7705 CH31 |
| 交流波纹 | 7705 CH1 7711 CH1 7705 CH21 | 7705 CH1 7711 CH1 7705 CH31 | 7705 CH11 7711 CH1 7705 CH21 | 7705 CH11 7711 CH1 7705 CH31 |

接线

图1中7700型开关模块连接采用标准绝缘电线。对于螺丝端子,推荐使用的最大电线型号是#20AWG。

为了把外部噪声降到最低,建议使用屏蔽线缆。对于交流线输入电压(如220V)来说,交流电压连接的绝缘等级必须足够高。直流电压、2线电阻和负载信号,则可以根据电源输出电压和电流额定值,使用绝缘等级较低的电缆。

当然,至7700型仪器的温度测量连接是通过热电偶电缆连接的。在2750型主机上安装7700型数据采集模块后,可以利用J, K, N, T, E, R, S和B型热电偶进行温度测量。对于本实例的应用来说,可以使用T型热电偶,因为它覆盖了所需的温度范围(-200°C ~ +400°C)。

电源处的高频波纹信号连接,需要一个弹簧夹/鳄鱼夹适配器(根据电源)与射频电缆相连。可以使用吉时利7711-BNC-SMA型电缆(图1)。其一端是SMA公头,与7711型开关模块相连。另一端是BNC母头,它需要BNC公头与待测器件(DUT)鳄鱼夹适配器相连。7711型模块的公共接地端与底板相连。

典型测量误差源

误差来源可以分为可确定的系统误差以及难于量化的随机误差。系统误差由测量仪器、开关器件和布线引起。随机误差则是由外部环境、传感器和相关测量器件引起的。

为了减少随机误差,所有测试引线都使用屏蔽电缆。建议使用具有屏蔽和多连接器的电缆。所有电缆的屏蔽都应当采取星型方式通过一个点固定接地相连。

为了减少系统误差,建议采取以下措施:

- 为了减少交流噪声敏感性,增加测量积分时间。2750型开关模块的测量时间调整范围是0.01~50 电源线周期(PLC)。对于60Hz电源,1个PLC是16.67ms。要想实现对电源线噪声的最大抑制,也就是线性周期拾波,必须使用PLC的整数(如1,2,5等)。
- 一定水平的直流接触电势与任意一对开关或继电器触点有关。这个电动势带来一定程度的电压测量误差。7700型开关模块触点闭合时带来的最大电势是1μV。对于7705型模块,触点电势不足4 μV。这个误差源可能重要,也可能不重要,具体取决于其对测量的影响。不过,应当予以记录,并对量级进行适当调整。
- 7711型电缆具有与无端接通道有关一定内在误差。如果该模块的某些通道不使用,应当连接50Ω负载。
- 在某些应用中,应当考虑7711型电缆的功率处理能力。图2给出在保持数字多用表(DMM)精度时,其传输的最大功率数量。虽然可以使用高达10 W的功率电平,但这可能带来测量误差。

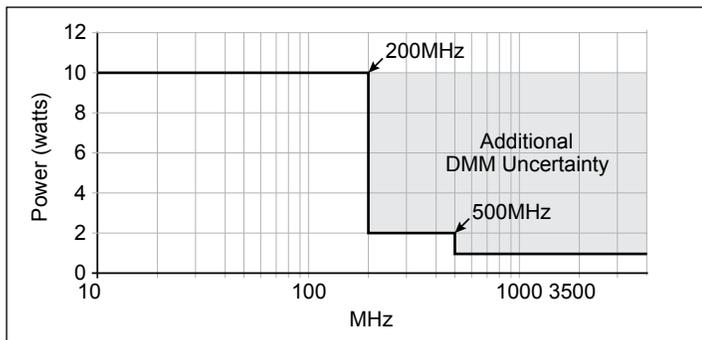


图2 7711型开关模块每通道功率和频率关系

实例程序

吉时利仪器为PC控制测试设备开发了一个实例程序。虽然针对具体待测器件（DUT）及其测试设备需要对程序进行修改，但它仍提供了一个测试开发捷径。程序中嵌入的说明使开发人员能够了解程序编码以及怎样使用指令。在7711型开关模块用户指南中给出该程序[2]。登录吉时利网站www.keithley.com.cn，即可下载该指南，具体点击Document Center/Manuals/7711/Models 7711 and 7712 ... User's Guide PA-818 Rev 。

参考文献

1. Keithley Application Note #2260, Burn-in Testing Techniques for Switching Power Supplies.
2. Keithley Models 7711/7712 Single-Pole, Dual 1×4 RF Multiplexer Modules User's Guide, Publication PA-818.

说明书如有变动不另行通知。所有吉时利的注册商标或 商标名称都是吉时利仪器的财产。
所有其它注册商标或商标名称都是相应公司的财产。
此版本为中文译本，仅供参考。您购买或使用前请务必仔细阅读本文件的英文原件。

KEITHLEY

A Tektronix Company

更自信的测试

KEITHLEY INSTRUMENTS, INC. ■ 28775 AURORA RD. ■ CLEVELAND, OH 44139-1891 ■ 440-248-0400 ■ Fax: 440-248-6168 ■ 1-888-KEITHLEY ■ www.keithley.com

BENELUX

+31-40-267-5506
www.keithley.nl

FRANCE

+33-01-69-86-83-60
www.keithley.fr

ITALY

+39-049-762-3950
www.keithley.it

MALAYSIA

60-4-643-9679
www.keithley.com

SINGAPORE

01-800-8255-2835
www.keithley.com.sg

BRAZIL

55-11-4058-0229
www.keithley.com

GERMANY

+49-89-84-93-07-40
www.keithley.de

JAPAN

81-120-441-046
www.keithley.jp

MEXICO

52-55-5424-7907
www.keithley.com

TAIWAN

886-3-572-9077
www.keithley.com.tw

CHINA

86-10-8447-5556
www.keithley.com.cn

INDIA

080-30792600
www.keithley.in

KOREA

82-2-6917-5000
www.keithley.co.kr

RUSSIA

+7-495-664-7564
www.keithley.ru

UNITED KINGDOM

+44-1344-39-2450
www.keithley.co.uk

有关如何购买或寻找销售合作伙伴的更多信息，请访问<http://www.keithley.com.cn/company/bizcenter>。