

测试系统构建基础指南

自动化测试系统的电源

目录

引言

为系统添加电源

地理位置考虑因素

电磁干扰或线路滤波器

功率预算

配电单元

不间断电源

电源状态

接地

组件的最佳实践

引言

为自动测试系统或自动测试设备(ATE)供电不同于为桌上的PC和灯供电。测试系统由许多异构的内部组件组成，其中一些需要大电流和功率，并且这些系统通常需要部署到全球具有不同功率电源和质量的设施中。许多测试系统组件来自多个供应商，并且必须由测试工程师集成，这使得问题更加复杂。如果遵循电源布局和设备选择的最佳做法，选择正确的组件并做出正确的设计决策要简单得多。

电源布局可避免组件需要的功率可能要比电源可提供的功率要高这一瓶颈，从而确保所有组件正常运行。这对于如果功率不足可能危及整个系统运行的组件来说尤其重要。本指南通过列出创建电源布局的步骤和注意事项来介绍测试系统的电源规划。

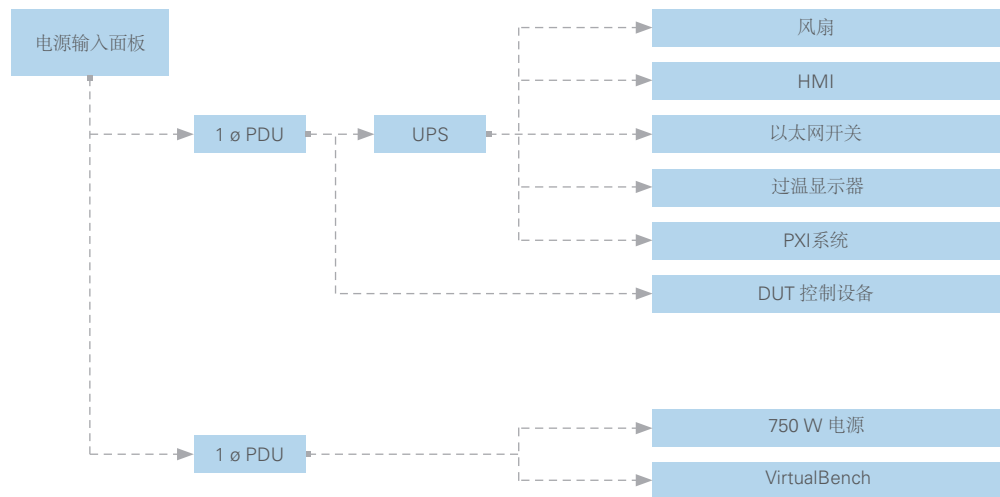


图1.电源布局包括测试系统中的所有设备，并绘制从电源到测试系统再到最终用户的电流流向图。

为系统添加电源



将电源添加到ATE系统的最佳做法是使用**电源输入面板**。这允许您将内部电源电缆从施加主电压的点隔离出来。使用电源输入面板，您可以为测试系统配备额定电压和电流与系统供电电压和电流一致的电源连接器。NI电源输入面板使用多种连接器类型和额定功率来满足各种电源要求和地理位置要求。图1显示了一个电源板连接器示例。好的电源面板还应具有内置电路保护，包括断路器和保险丝，可保护系统免受电源浪涌或不正确电源的损害。大功率面板具有内置电磁干扰(EMI)滤波器、浪涌抑制和其他将信号传递到系统的连接。

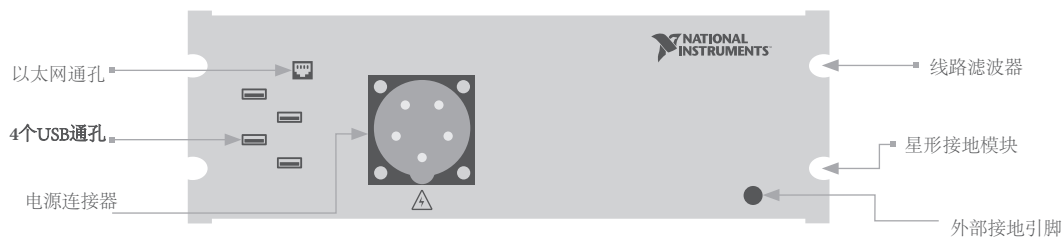


图2.电源输入面板为系统的电源输入提供连接。电源输入面板可以仅提供其中一种标准电源连接器类型，并且好的电源面板应具有滤波或锁死开关继电器等额外特性。

地理位置注意事项

测试仪或测试设备的地理位置是为测试系统选择电源面板的关键细节。此外，在规划新测试系统时，应考虑电力标准和电网基础设施、安全要求和易部署性，这些都是影响位置的因素

电网标准

从公共电网可获得的线路功率因国而异。世界各国已经在其电网中对不同的有效电压等级、交流电频率、连接器和电流范围进行了标准化。公共电网提供多种类型的电源配置：

- **单相电源**使用单根有源线来传导交流电和中性线。这些线路的公共电压电平在100V到240V之间变化。例如，日本的线路功率为100V，而输送功率为在220V到240V之间。美国和加拿大的公共电网传输功率为110V-120 V。
- **双相或分相电源**由两条有源线组成，这两条有源线在给定的正负偏移电压和一条中性线下提供电源。在美国，双相功率通常采用120V，两条有源线之间相位差为180度。使用两条电线来传输120 V和-120 V电压电平时，两条有源线可分别与一条中性线结合，组成两个120 V电位的单相电源，或同时使用两条有源线，组成一个240 V电位的单相电源。
- **三相电源**由三条相位相差120度的有源线和一条中性线组成。大多数美国建筑物使用208Y/120V电源，通过三条线路来传导120V电和208V恒定功率电路输出。许多工业建筑使用480Y/277V，为大型机器提供480V电压。

全球部署

测试系统通常设计和部署在独立或多个位置上。将一个系统部署到多个位置会给系统带来一系列新要求。将系统部署到马来西亚不同于将系统部署到同一个国家甚至同一栋大楼的工厂。例如，底特律的研发部门为汽车发动机控制单元开发了测试系统后，需要将其部署到墨西哥的工厂。在设计系统时考虑电网标准和质量，并确保在运送系统之前满足在墨西哥部署所需的所有安全和监管认证。以下是设计将在全球部署的测试系统时要考虑的事项列表：

- 电网电压标准和配置
- 电网质量和可靠性
- 材料合规性，如RoHS
- 能源合规性，如CE、PSE或KC
- 贸易合规性和进出口管制

如果计划将测试系统部署到测试系统原始开发国之外的国家或地区，请了解测试系统要部署的位置的可用功率，以及是否需要转换该功率才能运行测试系统的设备。在上面的例子中，测试系统要部署到马来西亚和墨西哥。幸运的是，美国和墨西哥的电网均提供110V-120V和60Hz的功率。如果测试系统是在德国设计，要部署到主电压完全不同的墨西哥，情况可能会更复杂。

电源转换器和不间断电源(UPS)可帮助您调节标准电源以满足系统的需要。例如，内含设备仅接受120V电压的测试系统可能需要纳入功率转换器，将230V单相功率转换为仪器所需的单相120V电源。更好的做法是，评估和选择具有全球输入电压的设备，以避免这些麻烦。

认证

许多国家都有特定的电气安全标准，如欧洲CE、日本PSE或韩国KC。电气测试设备的合规性测试通常包括排放水平和频率、触摸安全和浪涌保护。获得这些认证标志的最重要理由是能够将系统部署到其他国家或者证明设备能够在工厂运行。进行必要的研究，以了解测试系统将运行的每个国家所需的认证。忽略认证可能会导致将来使用测试系统时出现问题。只有拥有这些认证标记的组件才能进口，因此如果没有进行适当的认证，零件将很难更换或维修。

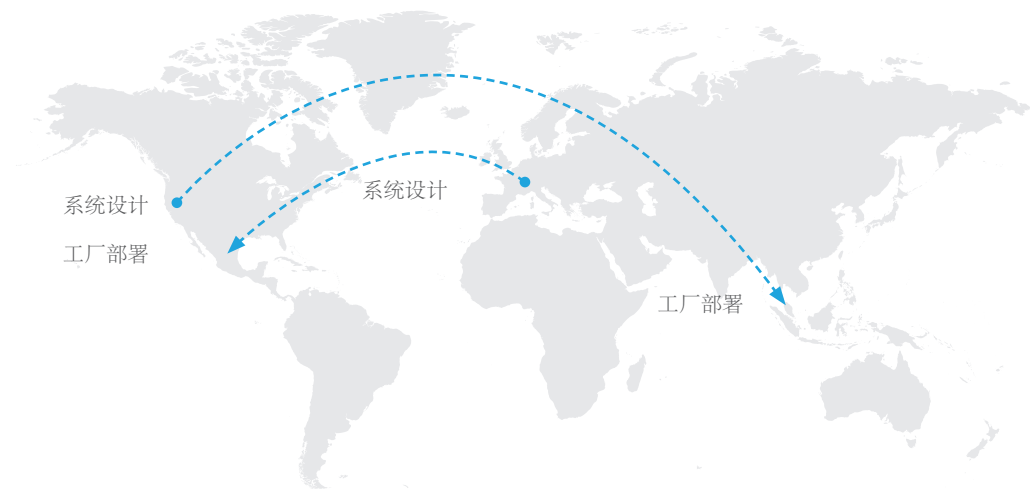


图3.在多个国家设计和部署测试系统需要灵活的系统设计。在开发需要在不同地理位置使用的测试系统时，请务必考虑电源标准和认证。

电磁干扰或线路滤波器

电网的高能量信号会辐射电磁噪声。大多数电源线的噪声相对一致，因此您可以提前计划。然而，没有电网是完美的，在电源信号中很可能存在一些非标准噪声。非标准噪声可能影响系统中的仪器测量，或导致系统违反认证要求。为了保护测试系统免受来自于输电线路的意外噪声源的影响，最常见的方法是EMI和线路滤波器。线路滤波器必须在一定电压电平和电流电平下工作，滤波的信号也有一定的频率范围。例如，线路滤波器的最大电压电平和电流电平为250V和10A，频率范围为150kHz到1MHz。确保根据测试系统的功率选择正确的线路滤波器来滤除不需要的噪声频率。NI电源输入面板包括用于保护敏感测量设备的EMI /线路滤波器。

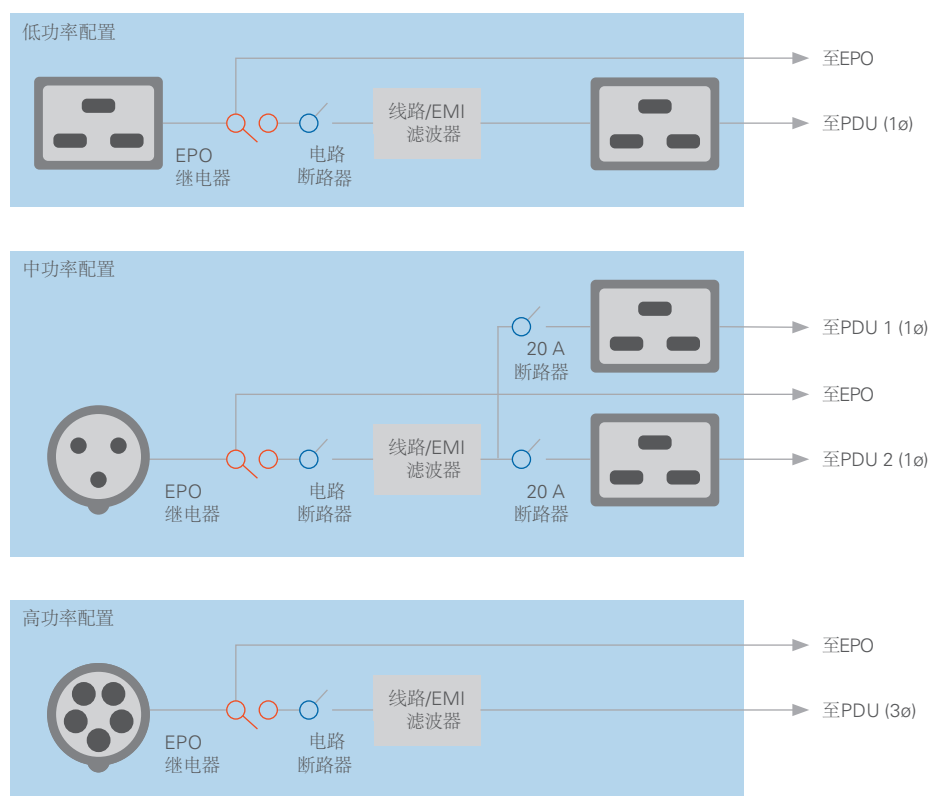


图4.电路断路器和线路/EMI滤波器对于保护测试系统中的设备以及确保仪器的正确和准确性能至关重要。图中显示了低功率、中功率和高功率配置的电源输入面板示例。

功率预算

功率预算是为测试系统规划资源和组件的关键部分。给定的设备必须能够以正确的电压电平访问一定量的电流。必须为整个系统以及系统内配电的每个点进行功率预算。在确定所需的功率量后，可以对计算出的值应用几个标准规则，以正确调整测试系统中的功率分配。

系统功率预算

系统功率预算的第一个要素是确定测试系统中所有设备的最大功率需求。总和应包含测试系统中所有组件的预期功耗，包括电压，电流和功率。在许多情况下，功率预算的最重要部分是电流。只有一定量的电流可以流过系统中的特定传输线，因此通常必须使用配电单元(PDU)来仔细地分配整个系统的电流。

给定设备的功耗通常在用户手册中写明，并且有时提供了在不同条件下的多个功率需求。有时，设备标注了典型的功耗和最大或最坏情况下的功耗规范。为了安全起见，最好的做法是使用最大功率要求，然后减去给定的百分比，通常为30%至40%，以更符合实际情况。图5显示了独立式仪器集成到测试系统的最大功率需求。

电源要求



注意：如果没有按照《NI VB-8034 安全、环境、法规信息》文档描述的方法使用，VirtualBench 硬件提供的保护功能可能会受损。

电压输入范围	100 VAC - 240 VAC, 50/60 Hz
功耗	最高150 W
电源输入连接器	IEC C13电源连接器
电源断开	交流电源线提供主电源断开。放置设备时应避免电源线不易断开。按下前面板电源按钮不会阻断内部电源。

图5. VirtualBench多功能一体式仪器提供了高功率以及典型或平均功率下需要的最大功率。

举一个快速简单的例子，如表1的测试系统。首先了解测试系统中每台设备的最大功耗。确保考虑子系统和瓶颈。PDU具有最大电流限制 - 在本例中为**16 A** - 因此您应该据此进行规划。下一步是针对所需的典型功率（而不是最大功率）校正这些值。这意味着大约最大功率的**60%到70%**。在本例中下，保险起见我们使用**70%**，则该测试系统提供了约**1,920 W**的功率。增加约**20%**的最大功率值以便将来扩展系统或添加新功能之用，而不必再添加电源。

设备	最大功耗	平均功耗利用	电流@110 V
PDU 1			
风扇	50 W	35 W	.03 A
HMI	100 W	70 W	.06 A
以太网开关	25 W	17.5 W	.02 A
过热显示器	10 W	7 W	.01 A
PXI系统	526.9 W	369 W	3.4 A
DUT控制泵	1,000 W	700 W	6.4 A
PDU 1 总计		1,198.5 W	11.0 A
PDU 2			
VirtualBench	150 W	105 W	1.0 A
750 W电源	1,100 W	770 W	7.0 A
PDU 2 Total		875 W	8.0 A
系统总计		2,073.5 W	19.0 A

表1.一开始先了解所有系统组件的最大功耗，乘以平均功率利用系数并将它们相加在一起计算功率预算。记住考虑瓶颈和子系统。

三个简单的最佳实践可以显着简化功耗预算：

- 1. 系统的功率需求为每个组件最大规定功率的大约**60%至70%**计算。
- 2. 作为安全缓冲，在第一点的基础上增加约**20%**作为最终功率计算，以考虑高活动时段和测试系统任何必要的未来扩展。
- 3. 记住一些组件通过**PDU和UPS**进行连接，因此大型系统需要考虑电源子系统。

子系统功率预算

上述功率预算计算中不包含的步骤是如何考虑大型测试机架内的子系统。子系统可以是更大测试系统中的任何设备子集，全部共用一个公共电源，比如使用单组PDU的多个仪器或PXI等模块化仪器系统。

模块化仪器的一个优势是它可以简化电源管理。如果PXI机箱中包含的所有仪器在测试系统中都是独立的，则必须单独考虑每个仪器。PXI机箱为机箱中的所有仪器提供高品质和安全的电源，并提供多个电源和仪器插槽选项。在将PXI系统添加到功率预算时，有以下两个选择：

- 1. 使用PXI机箱规定的整个PXI系统的最大功耗。例如，PXIe-1085 PXI机箱的最大功耗为791 W，在乘以70%的平均利用率后便得到554 W的功耗预算。
- 2. 添加PXI系统中所有模块的最大功耗，以获得非常精确的功耗预算值。有关执行详细PXI系统功率预算的示例，请参见图6。

另外，模块化仪器系统明显地比传统的仪器组合更高效，因为它避免了测试系统内需要安装冗余的监视器和冷却系统等由测试系统内部供电的共用组件。

作为PXI系统精确功率预算的一个例子，可考虑具有24 GB/s系统吞吐量的PXIe-1085 PXI机箱，包括PXIe-8880 PXI控制器、六个PXIe-4139精密系统源测量单元(SMU)、两个PXIe-5162 PXI示波器、PXIe-6570基于向量的数字通道板卡、两个PXIe-4081 7½位数字万用表(DMM)和四个PXIe-2527多路开关模块。请参见图6中PXI系统功率预算的计算方法。



图6. PXI机箱的总功耗是机箱中所有模块的总和。可以看到在最坏情况下，机箱中的所有仪器将消耗526.9 W。

配电单元

PDU的主要用途是获取输入功率信号并将其分配给为系统组件供电的多个输出。PDU的内部电源插座具有一定的额定电压和电流，通常可用于交流和直流电。最好的PDU选项具有多个特性：

- 远程开/关使操作员能够使用动力机构和EPO更改电源状态。借助这种方式，操作者可以从方便的位置完全控制系统状态。操作员还可以通过本地和全局EPO机制禁用系统的电源。
- 内置电路保护，如保险丝，可以保护昂贵但易坏的设备免受意外电力事件的影响，节省数万甚至数十万美元
- 设备组排序可以确保特定设备在其他设备组上电之前先上电。例如，连接到外部控制器或从另一个主PXI机箱扩展出来的PXI机箱需要在主机控制器之前先启动。在这种情况下，在启动包括PXI主机箱的设备组之前，PDU应启用包含PXI从机箱的插座组。
- 通过多个组来处理一定量的功率有助于平衡PDU上的功率负载，防止出现可能损坏测试系统设备的过流条件。例如，具有三个电源插座组的PDU可以为每个组输送16 A的电流，防止连接到PDU的任何一台设备的电流超过16A。这也意味着您必须知道在多个组之间分配给设备的电流。
- 直流电源可以为状态LED或冷却系统之类的组件供电，这些系统通过远程开/关和组排序消耗直流电。一些组件甚至用于系统的“电源启动”状态，从而需要远程供电功能。

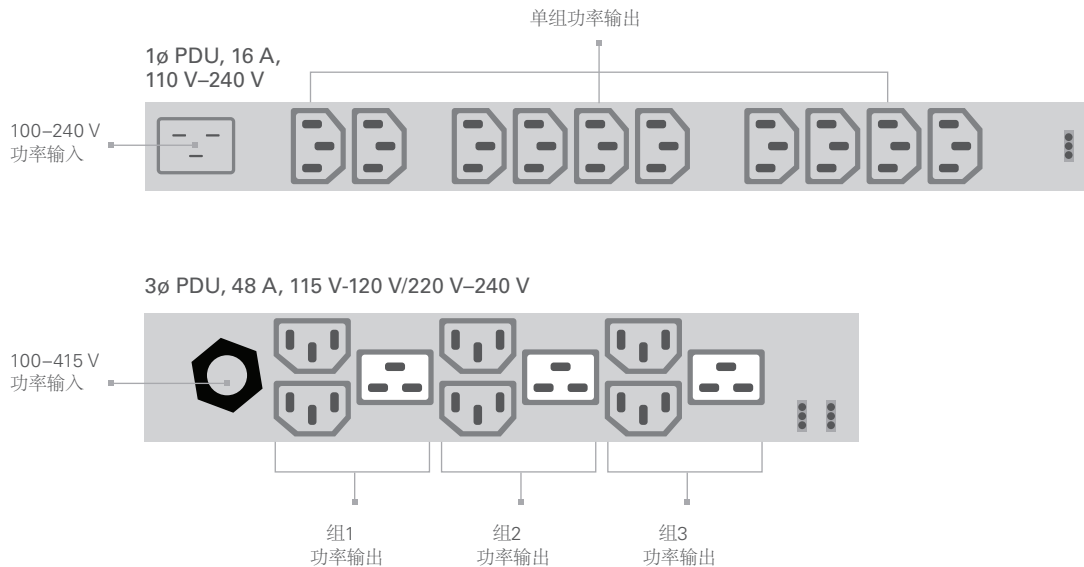


图7. PDU可采用不同的接线方式和架构。上面的PDU只有一个组，可以为设备提供高达16 A的电流，下面的PDU具有三个组，每个组可以提供16A电流，最高可达48A。

为测试系统中的关键组件供电

请确保关键组件（如主机控制器和测试系统中的敏感仪表）通过UPS供电。测试系统的一些组件乍看起来没那么重要，但其实很重要。如果冷却系统在断电或掉电后没有继续运行，则主机控制器可能会过热。如果测试系统的触摸屏显示器没电，则技术人员无法进行故障排除或对电源故障时间进行数据记录。想一下即使在停电或紧急情况也要继续操作的事项。

系统供电开销和支持

在分配电源时记得考虑测试系统的开销和基础设施，如温度控制、网络连接和用户界面元素。过热或网络连接断开可能会导致生产中断，这与测试仪器故障同样具有危害性。

不间断电源

好的测试系统设计工程师会考虑电网的质量并设计系统，以避免在掉电和停电期间出现未定义行为。您可以在这些事件期间以及有时在正常操作期间使用UPS为测试系统中的关键组件供电。

UPS可以提供具有可靠电压和电流的电力供应。它也可以在断电或严重掉电后充当电池电源。UPS是构成坚固耐用测试系统的关键部件，特别是对于电网不可靠的位置。

UPS主要有两种类型：

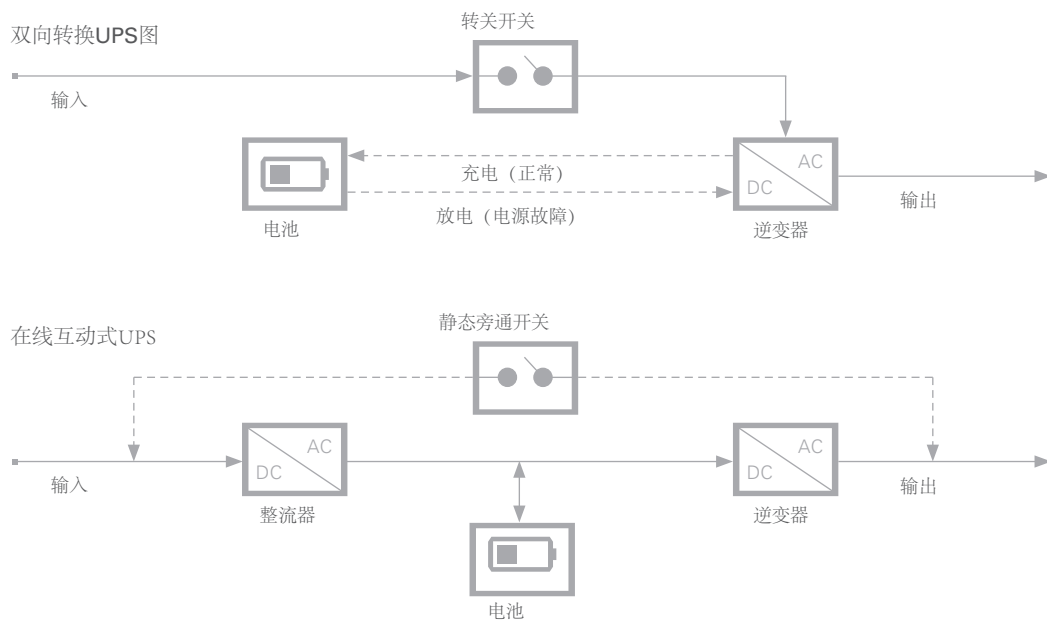


图8. UPS用于提供清洁、可靠的电源，也允许在停电或掉电的情况下正常关机。双向转换UPS始终为电池充电，为系统提供连续的电源。

- **在线互动式UPS** - 在线互动式UPS中，有功电源线输入直接连接到电源输出。然后，UPS监测输入功率，以确保功率不会低于给定阈值。如果电源线电压下降过低，就会切换到通过反向运行UPS为输出信号供电的充电电池。在这种情况下，测试系统在运行期间接收线路功率而没有经过任何调理，并且在电源故障的情况下由UPS继续供电。
- **双向转换UPS** - 双向转换UPS将输入电源线连接到连续充电的电池，然后为UPS的输出线路提供电源。双向转换UPS的供电非常连续，因为它通过板载电池供电。双向转换UPS的另一个好处是，电池总是充满电，可以随时用作为备用电源，以允许关键系统在停电或显著掉电时正常关闭，无需切换电源。尽管这些UPS的效率略低，但它们却能够在测试系统内部始终提供稳定和准确的电源，这使得双向转换UPS成为ATE应用的不错选择。

电源质量和可靠性

没有电网是完美的，但大多数电气设备设计为在理想的电源条件下工作。当电网的功率与系统使用的功率不同时，系统就会不正常运行。仪器可能进行质量很差的测量或输出错误信号。设备和系统可能会打开后关闭，导致丢失重要设置或默认设置不正确。这种意外的行为可能导致测试结果不理想、待测设备(DUT)受损甚至更糟糕。双向转换UPS的一个额外优点是通过给内部电池充电来提供滤波，并提供高度可靠、清洁的电源。

停电和断电

当电网供电完全关闭时，就会发生停电。设计良好的电网很少会出现停电，当停电时，通过两种方式管理系统的行为：（1）使系统的一些或所有组件短时间使用电池供电，以便能够正常关闭或（2）由于停电而关闭。

掉电和电涌在电网中更为常见，特别是在高功耗的工厂设施中，并且更难以处理，因为它们会在系统中引起不确定的行为。掉电可以是电网中的电压或电流骤降或毛刺，会导致输入到测试系统的功率降低。浪涌是电网的电压或电流高于正常水平的瞬时干扰。

UPS的内部电池可允许在停电或严重降压之后新电源（比如发电机）联机之前的那段时间里，为测试系统的重要设备提供足够的电力。重要设备包括主机控制器和用户界面以及任何其他关键设备。电池提供的时间可允许系统维护基本数据，避免系统损坏或不安全的软件状态。

电源状态

测试系统通常需要具有多个运行状态来允许调试和维护、省电和安全。好的测试系统设计方法应该能够实现四种运行状态：

- **关闭** - 系统完全禁用，没有电源通过线路滤波器或任何内部测试系统组件。
- **启用** - 电力通过线路滤波器并进入任何直接供电的设备。通常，所有设备都通过PDU供电。在启用状态下，只有PDU的主输出可能被激活。在某些情况下，PDU的直流电源也会被激活，为系统支持和其他组件供电。例如，在启用状态下，以太网路由器和实时系统控制器可以通电，以便技术人员可以监测测试系统的健康。
- **打开** - 该状态的改变从测试系统的主电源接通序列开始。所有PDU接收电力并输出到其他系统设备。在许多情况下，当某些系统组件必须在其他组件启动后才能开始运行时，有必要对电源序列分级。阅读“电源布局”部分，了解有关PDU的更多信息。
- **紧急关机(EPO)** - 当用户或系统显示器识别到不可接受的运行条件时，EPO会立即切断测试系统的电源。



- 系统电源禁用
- 没有设施为线路滤波器供电



- 系统电源启用
- PDU主交流出口启用
- PDU直流插座启用（可独立控制）
- PDU标准插座启用
- UPS禁用



- 系统电源启用
- PDU主插座启用（直流电源—风扇、系统扩展器和ENET路由器）
- 各个DC插座启用（2组上电序列）
- PDU准插座启用（2组上电序列）
- UPS启用



- 系统电源禁用
- 没有设施为线路滤波器供电

图9.测试系统需要多种电源状态，包括关闭、启用、打开和EPO，以确保高效的运行。

紧急关机

当测试系统遇到严重问题或设施发生紧急情况时，操作员需要能够快速利落地关闭测试系统。EPO机制包含在测试系统中，以简化连接并禁止功率切换。操作员可在错误状态下使用EPO来重置系统，防止对DUT造成损坏，甚至防止对自己造成伤害。EPO功能也是IEC和UL等安全标准机构的要求。

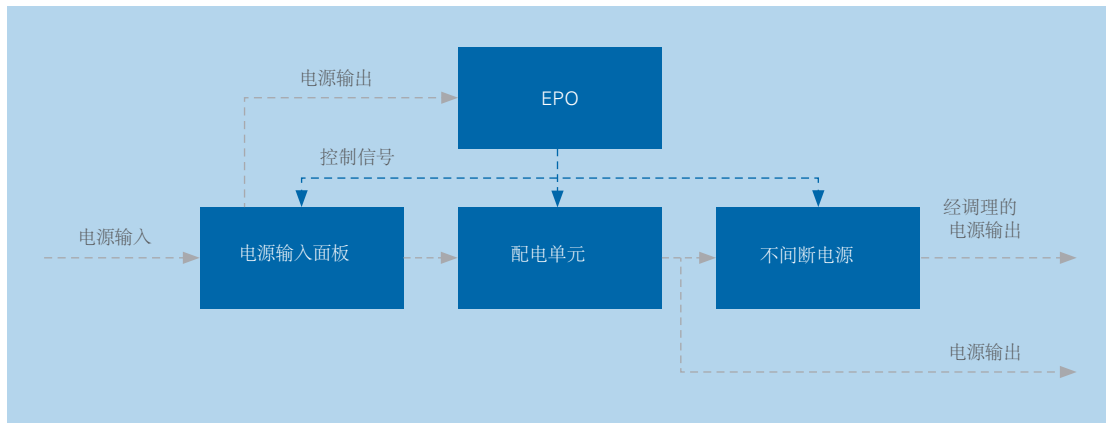


图10. EPO连接到测试系统中的所有设备，并在必要时可以禁用所有连接的设备以保持安全。

EPO通常是操作员容易操作的物理机制，比如按钮或开关，并且在按下时切断对所有测试系统设备的供电。理想情况下，EPO面板与测试系统的所有设备都连接，以确保所有设备能够快速关闭。大多数EPO将系统置于关闭状态后，需要将它们重置为启用状态，然后才能重新激活并启动所有设备。这可防止系统在出现不安全情况时断电后又意外重启。

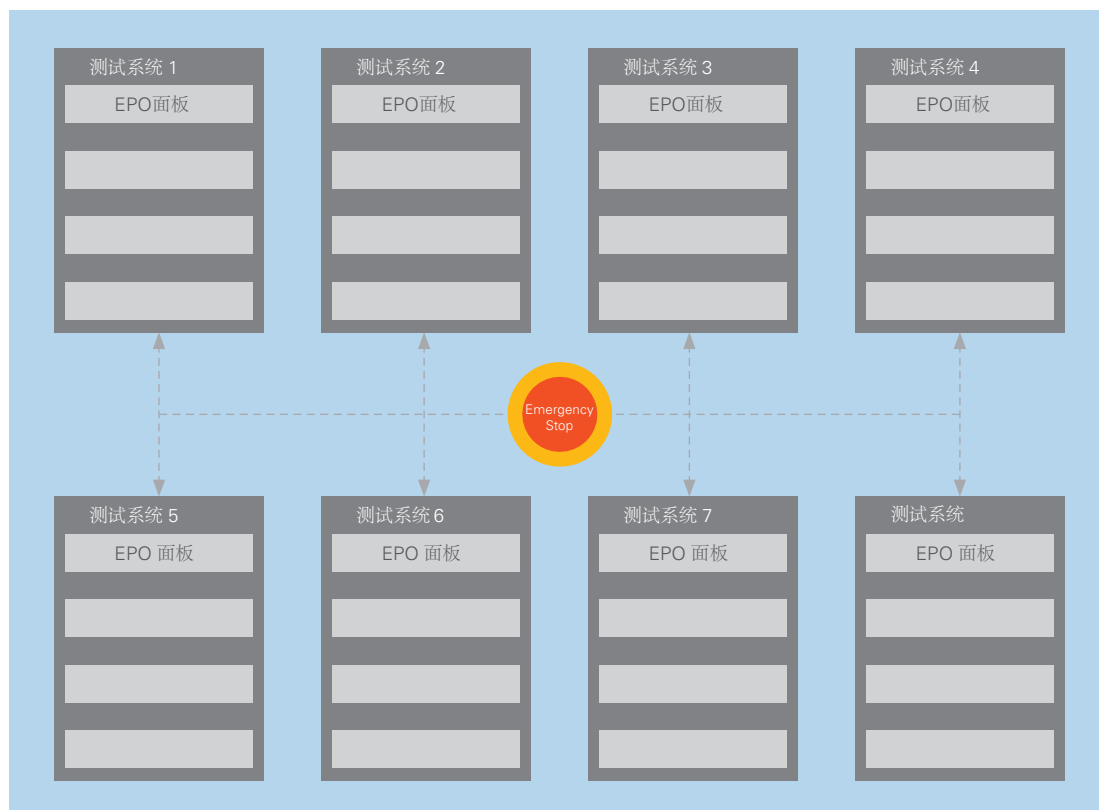


图11.在某些情况下，需要全局EPO来禁用设施中的所有测试系统和设备。全局EPO是一个单一的关机机制，可启用各个系统的本地EPO。

接地

接地是测试系统设计的关键部分，主要原因有两个：安全性和测量质量。

确保测试系统具有适当的接地以保证安全性，这意味着给测试系统的所有设备提供适当的路径，以便电流流向实际接地或地面接地。电源输入面板必须连接到具有正确接地的电源。然后可以选择测试系统中的任意一台设备作为终端电源，并沿着自身的路径将其接地回电源输入面板。以太网开关的接地电流路径应遵循图1示例测试系统的电源布局。以太网开关接地连接到UPS地，UPS地应连接到PDU的地，PDU的地应连接到电源输入面板的地。接地回路会形成一条电流路径流向地面，可帮助您避免在系统中创建可能产生放电的危险充电，导致DUT损坏或操作员触电。

尽管所描述的接地路径通常足够，但是测试系统中的每个设备单独接地可以保证安全。NI的电源输入面板有一个星形接地模块，如图2所示，连接到整个机架上的其他接地模块。然后，电源输入面板外部的接地螺柱可以连接到机箱外部的真实接地线。另外，每件设备通常具有可以直接连接到地面的接地螺柱。您可以看到图12中的NI PXI机箱的接地螺钉。将每个设备连接到整个机箱中的分布式接地模块，确保每个设备都安全接地，并且所有接地线都非常短，这有助于减少电磁噪声。

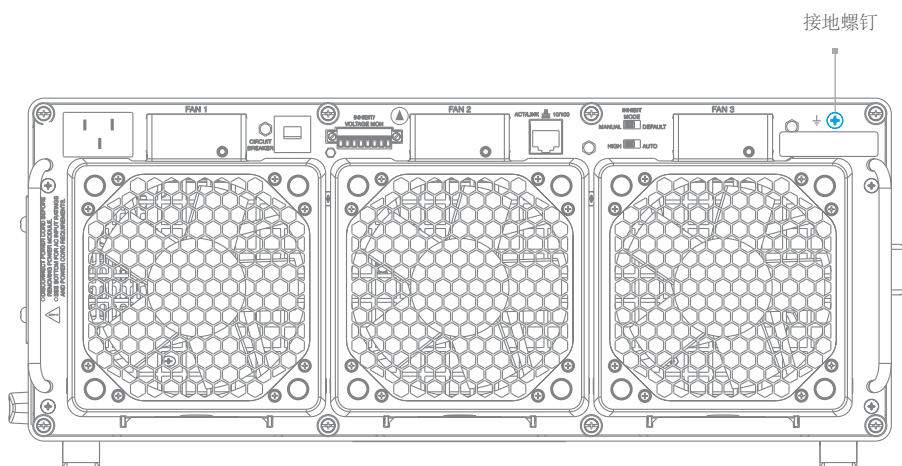


图12. PXIe-1085 PXI机箱有一个接地螺钉，可允许您将机箱和所有仪器直接接地到外部接地模块。将机架中的每台设备接地是确保安全的最佳做法。

确保接地平面的电气连接短路。长的接地回路可能会造成驻波，导致系统内出现射频辐射。如果需要长传输线连接到接地平面，则需将信号与双绞线配置中的接地信号耦合，以减少电磁噪声。如果是浮地或不参考地，则应纳入信号的正负参考。

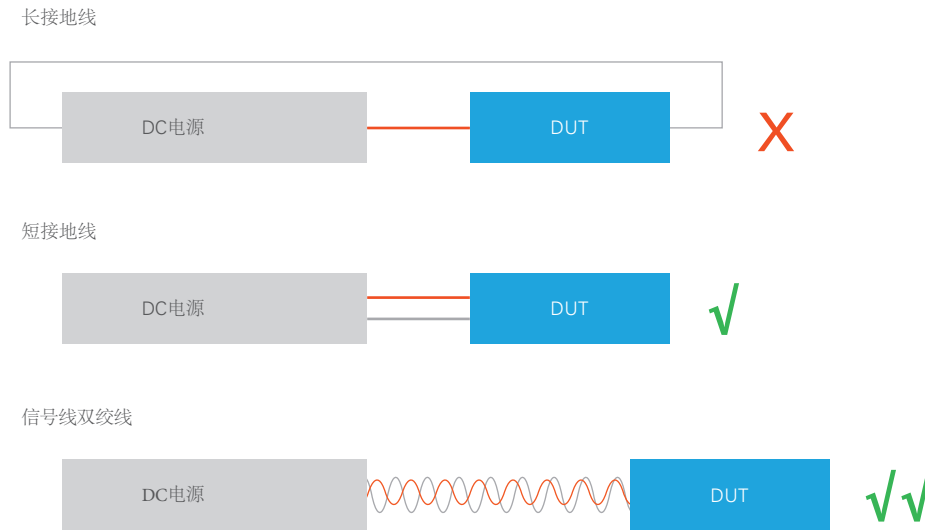


图13.系统中的长接地线如果不匹配,可能会导致明显的接地回路,并作为噪声信号的天线。使用短接地线更好,但仍有可能接收不需要的噪声。为了获得最佳性能,请在系统中使用双绞线的信号线和接地线。

通过阅读白皮书“[现场接线和噪声注意事项综合指南](#)”，了解为测量做出正确连接所需的所有信息。

组件的最佳实践

采购材料来构建测试系统几乎有无限种方式。当构建需要维护的系统时,请考虑长期支持和系统的可扩展性以便在未来添加需求。为了实现这些结果,最好向具有长期产品供应策略的商业供应商采购系统组件。对于PDU、UPS、系统控制器和仪表等项目,与供应商合作似乎是常识,但同样的策略应用在较小的项目(如互连和电缆)可以获得长期回报。与专注于提供连接器的供应商和提供测试仪器的供应商合作,可帮助您以经济高效的方式让系统运行十年之久。

在极少情况下,由于特殊要求或特殊情况而无法使用商用产品,因而有许多公司专注于为测试系统定制设备和解决方案。请记住,这些解决方案通常针对个别消费者,并且随着时间的推移更有可能改变或过时。