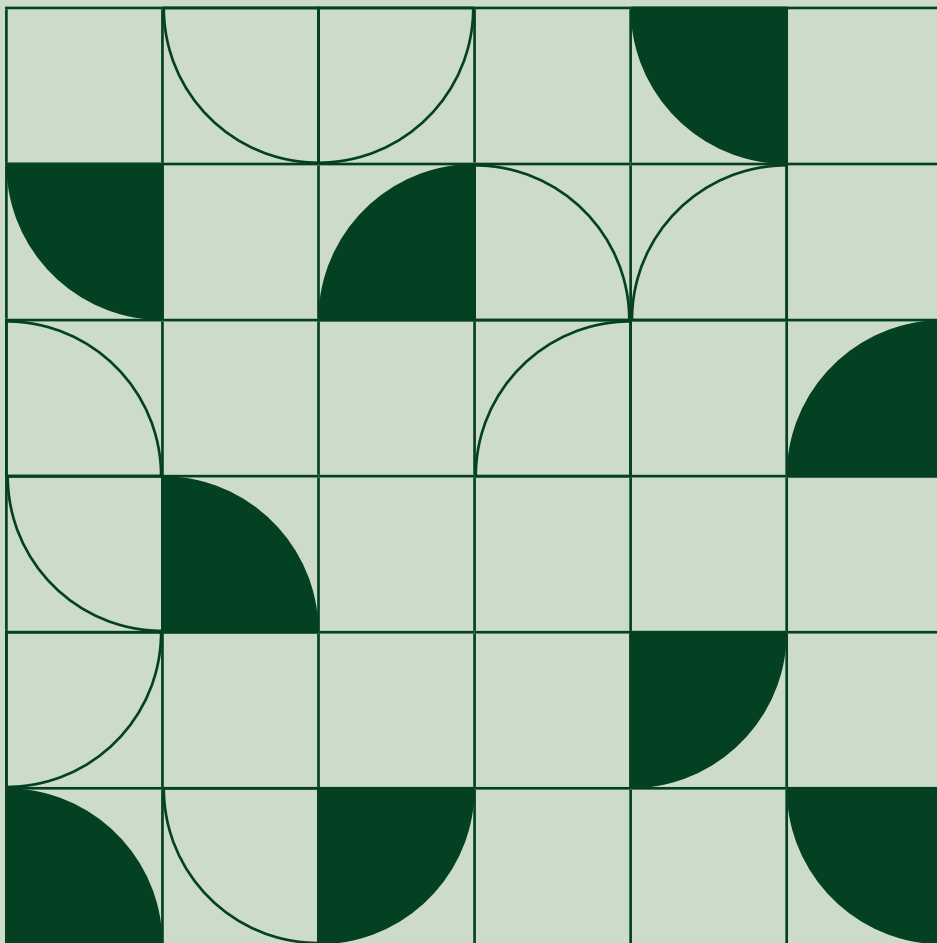


自动化测试系统的电源规划



- 02 简介
- 03 为系统接入电源
- 04 地理位置考虑因素
- 06 电磁干扰或线路滤波器
- 07 功率预算
- 10 配电单元
- 13 电源状态
- 15 接地
- 16 组件采购最佳实践

引言

为自动化测试系统或自动化测试设备(ATE)供电不同于为个人计算机(PC)和台灯供电。测试系统由许多异构的内部组件构成,其中一些组件需要大电流和大功率,并且这些系统通常需要部署到全球各地具有不同电源规格且质量不一的设施中。此外,测试系统的许多组件来自多个供应商,并且必须由测试工程师集成,因此供电问题势必更加复杂。不过,如果遵循电源布局和设备选型方面的最佳实践,挑选适合的组件并作出适当的设计决策则要简单得多。

组件的功率需求有时可能会超出配电系统提供的功率,而精心设计的电源布局可以有效避免这一瓶颈问题,从而确保所有组件正常运行。特别是在组件可能因为功率不足而危及整个系统的运行时,更应当注重电源布局的设计。本指南列出了创建电源布局的步骤和注意事项,以此介绍测试系统的电源规划。

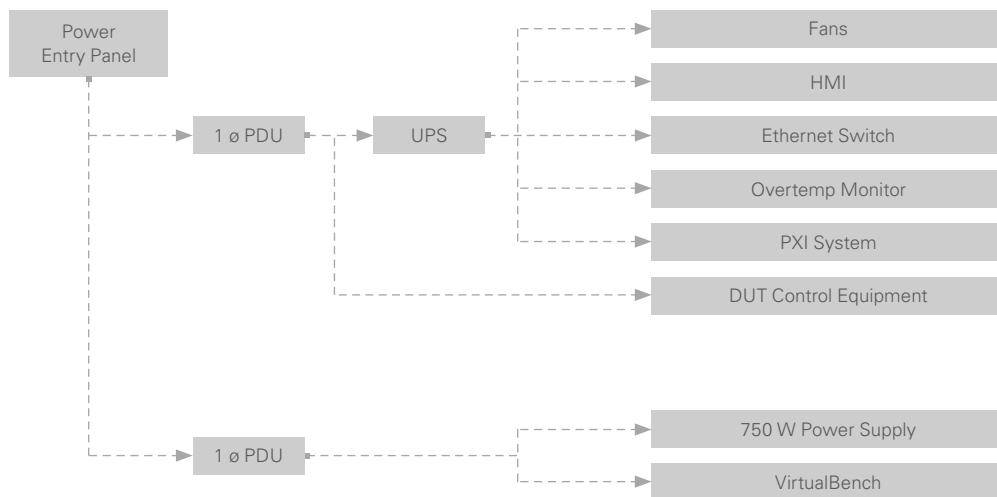


图 1 电源布局包括测试系统中的所有设备,并呈现从电源到测试系统再到最终用电设备的功率流。

为系统接入电源

为ATE系统接入电源的最佳做法是使用电源输入面板或电源进线面板。这样可以将内部电源接线与主电压的施加点隔离开来。使用电源输入面板，可以为测试系统配备合适的电源连接器，即额定电压和电流能够满足系统供电需求的电源连接器。NI电源输入面板支持多种连接器类型和额定功率，可满足各种电源要求和地理位置要求。图1给出了电源面板连接器的示例。优质的电源面板还应内置电路保护(包括断路器和保险丝)，以保护系统免受电源浪涌或选用电源不当所带来的损害。更高级的电源面板还会内置电磁干扰(EMI)滤波器、浪涌抑制器以及用于将信号传递到系统的其他连接功能。

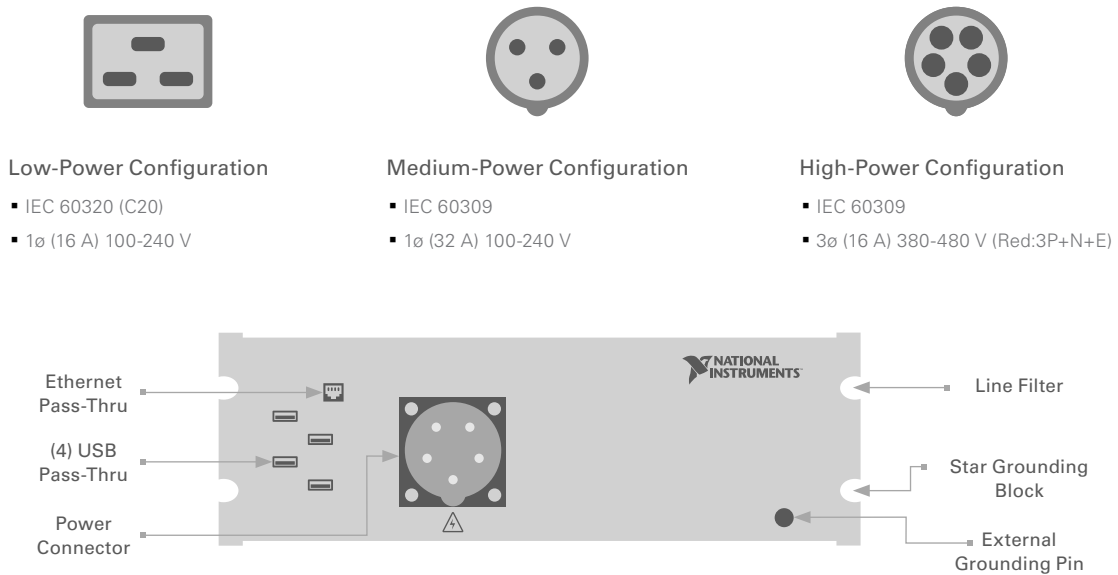


图 2 电源输入面板提供将电源接入系统所需的连接功能。电源输入面板可以采用多种标准电源连接器类型中的一种，并且优质的电源面板还具备滤波或急停开关继电器等附加功能。

地理位置考虑因素

为测试系统选择电源面板时，测试仪或测试设备的地理位置是需要重点关注的一个细节。此外，在规划新的测试系统时，还应考虑电源标准和电网基础设施、安全要求以及部署难易程度，这些因素都会受到地理位置的影响。

电网标准

不同国家或地区的公共电网所提供的线路功率有所不同。世界各个国家或地区均针对其电网中的RMS电压、交流电频率、连接器和电流范围制定了相关标准。

公共电网具有以下几种电源配置：

- 单相电源由一根用于传导交流电的火线和一根零线组成。这种线路的电压一般从100 V到240 V不等。例如，日本的线路电压为100 V，而输送电压在220 V和240 V之间。美国和加拿大公共电网的输送电压为110 V到120 V。
- 两相电源也称为分相电源，由两根火线和一根零线组成，两根火线以给定正负偏移电压供电。在美国，两相电源通常为120 V，两根火线之间的相位差为180度。由于两根火线分别传输120 V和-120 V的电压，可以分别将两根火线与零线搭配使用，形成两个120 V的单相电源，也可以使用两根火线，形成一个240 V的单相电源。
- 三相电源由三根火线和一根零线组成，三根火线相互之间的相位差为120度。美国大多数建筑使用208 Y/120 V电源，通过三根火线传导120V电压，电源电路输出恒定，为208 V。许多工业建筑使用480 Y/277 V，可提供大型机械所需的480 V电压。

全球部署

测试系统的设计和部署地点往往不同，甚至涉及多个地理位置。将单个系统部署在多个地理位置会为系统引入一系列新的要求。将系统部署到马来西亚与将系统部署到研发地的工厂甚至是研发机构所在大楼是截然不同的。例如，在底特律的一家研发机构开发一款汽车引擎控制单元测试系统，但却要将其部署在墨西哥的工厂。在设计该系统时应考虑墨西哥的电网标准和质量，并在系统发运之前确认系统满足在墨西哥部署所需的所有安全和监管认证。设计在全球部署的测试系统时，需要考虑以下事项：

- 电网电压标准和配置
- 电网质量和可靠性
- 材料合规性，如是否符合RoHS标准
- 能源合规性，如是否CE、PSE或KC认证标准
- 贸易合规性和进出口法规

如果计划将测试系统部署到测试系统研发地以外的国家或地区，则需要事先了解测试系统部署地的电网电压，以及是否需要对该电压进行转换才能确保测试系统中的设备正常运行。在前文的例子中，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110 V-120 V和60 Hz的电源。如果测试系统是在德国设计但要部署到墨西哥，则情况会略微复杂，因为这两个国家的市电电压并不相同。

电源转换器和不间断电源(UPS)可以帮助调节标准电源，从而满足系统需求。例如，如果测试系统中包含仅能接受120 V电压的设备，可能就需要配备电源转换器，将230 V单相电源转换为该设备所需的单相120 V电源。当然，最好是直接评估和选择支持全球输入电压的设备，以免麻烦。

认证

许多国家都有特定的电气安全标准，例如欧洲CE、日本PSE或韩国KC。电气测试设备的合规性测试通常涵盖辐射水平和频率、触摸安全以及浪涌保护。之所以必须获得这些认证，是因为只有获得认证才能将系统部署到相应国家或地区，或者证明设备能够在工厂中运行。在任何国家或地区运行测试系统时，都需要调查该国家或地区所需的认证。如果未获得认证，将来使用测试系统可能会面临诸多问题。各组件也只有获得这些认证后才能进口，因此如果未获得相应认证，部件将很难更换或维修。

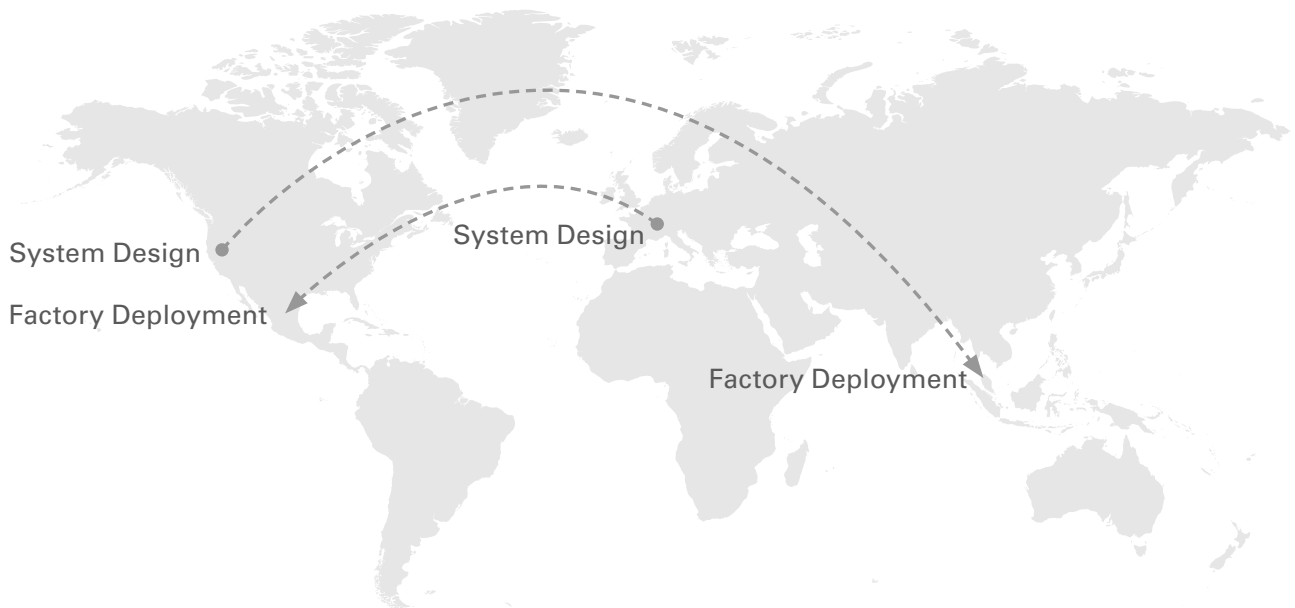


图 3 如要将测试系统部署在多个国家或地区，就需要灵活地进行系统设计。在开发这类测试系统时，务必要先考虑相关国家或地区的电源标准和认证。

电磁干扰或线路滤波器

电网承载的高能信号通常会发射电磁噪声。电源线产生的大多数噪声相对一致，可以提前进行相关规划。但是，世界上没有完美的电网，电源信号中很可能会存在一些非标准噪声。非标准噪声可能会影响系统中的仪器所进行的测量，甚至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，最常用的方法是使用EMI和线路滤波器。线路滤波器必须在一定电压和电流下工作，并且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和电流可以为250 V、10 A，工作频率范围为150 kHz至1 MHz。确保根据测试系统的功率选择适合的线路滤波器来滤除不需要的噪声频率。NI电源输入面板配有EMI/线路滤波器，可为敏感的测量设备提供保护。

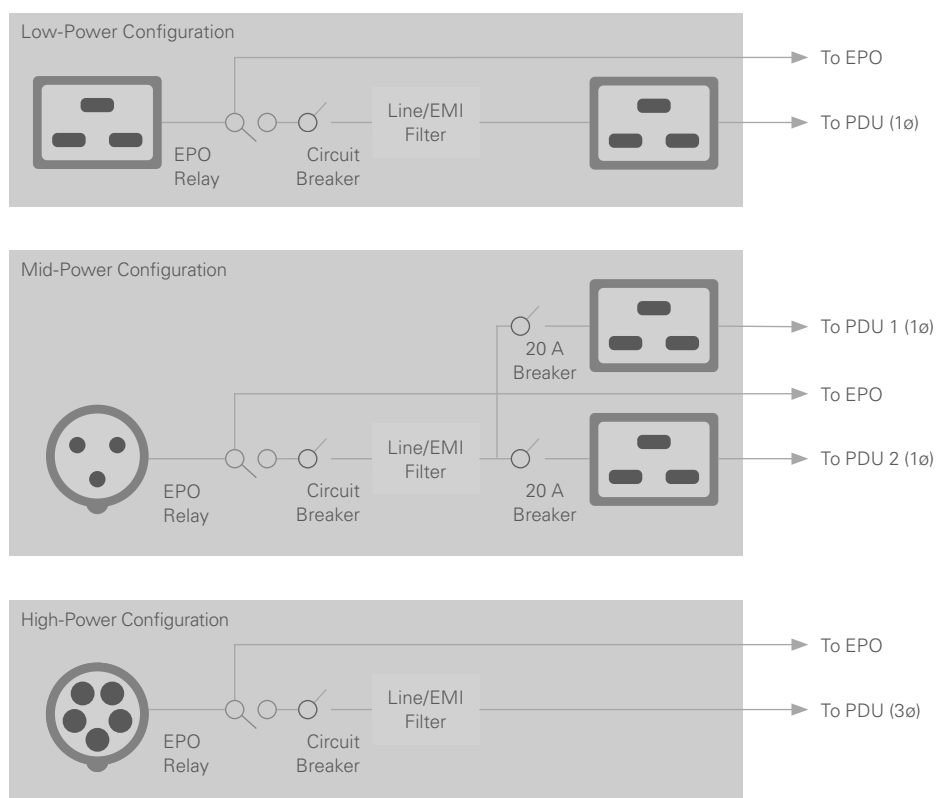


图 4 断路器 and 线路/EMI滤波器对于保护测试系统中的设备以及确保仪器正常运行和精准测量至关重要。图中给出了电源输入面板的低功率、中功率和高功率配置示例。

功率预算

功率预算是测试系统资源和组件规划过程中的关键环节。任一给定设备必须能够在正确的电压下获得适量的电流。功率预算必须针对整个系统以及系统内的每个配电点执行。在通过计算确定所需的功率量后，可以对这些计算出的值应用一些标准规则，从而优化测试系统中的功率分配。

系统功率预算

在确定系统功率预算时，首先需要确定测试系统中所有设备的最大功率需求。需求总和中应包含测试系统中所有组件的预期指标，包括电压、电流和功率瓦数。在许多情况下，功率预算中最重要指标是电流。由于系统中的给定传输线路只能流过一定量的电流，因此通常必须使用配电单元(PDU)仔细分配在整个系统中的电流。

给定设备的功耗通常在用户手册中写明，有时还会涉及不同条件下的多种功率需求。在某些情况下，设备标注了典型功耗和最大功耗(即最坏情况下的功耗)规范。最好使用最大功率需求作为相对保守的安全值，然后再减去给定的百分比(通常为30%到40%)，得到较为符合实际情况的功率值。图5显示了独立式仪器集成到测试系统中时的最大功率需求。

VirtualBench多功能一体式仪器指定了用电量较大时所需的最大功率，而不是典型功率或平均功率

 注意:如果未按《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下降。

| | |
|---------|------------------------------------------------------|
| 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 |
| 断电 | 可通过交流电源线断开主设备供电。请勿将设备放置于不易断开电源线的位置。按前面板电源按钮不能关闭内部电源。 |

下面以表1中的测试系统为例，简单快速地加以说明。首先了解测试系统中每台设备的最大功耗。确保考虑到子系统和瓶颈问题。PDU具有最大电流限制(本例中为16A)，因此需要做出相应规划。下一步是基于最大功耗值计算得出所需的典型功耗值，也就是取最大功耗的60%到70%。在本例中，保险起见我们使用70%，则该测试系统的功耗约为1,920 W。另外，最好在该值的基础之上再增加约20%，以便将来可以为系统扩展或添加新功能，而不必再添加电源。

| 设备 | 最大功耗 | 所用平均功耗 | 110 V时的电流 |
|----------------|---------|------------------|---------------|
| PDU 1 | | | |
| 风扇 | 50 W | 35 W | 0.03 A |
| HMI | 100 W | 70 W | 0.06 A |
| 以太网交换机 | 25 W | 17.5 W | 0.02 A |
| 过热监视器 | 10 W | 7 W | 0.01 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总计 | | 875 W | 8.0 A |
| 系统总计 | | 2,073.5 W | 19.0 A |

表 1 | 开始计算功率预算时，首先要了解系统所有组件的最大功耗，乘以平均功耗利用率，然后将它们相加在一起。记住要考虑瓶颈问题和子系统

以下三个简单的最佳实践可以显著简化功率预算：

- 01 基于每个组件所需最大功率的约60%到70%计算系统功率需求。
- 02 在规则1最终得出的功率计算值基础之上再增加约20%作为安全缓冲量，用于应对用电量大的时段以及测试系统未来的任何必要的扩展。
- 03 请记住，有些组件通过PDU和UPS连接，因此大型系统需要使用电源子系统。

子系统功率预算

上述功率预算的计算过程中省略了一个步骤，即如何将大型测试机架中的子系统考虑在内。子系统可以是大型测试系统中设备的任何设备子集，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。

模块化仪器的优势在于可以简化电源管理。如果PXI机箱中包含的所有仪器在测试系统中都是相互独立的，则必须单独将各个仪器考虑在内。PXI机箱为其包含的所有仪器提供高质量的安全电源，并提供多种电源和仪器插槽选项。

在将PXI系统纳入功率预算时，可选择以下两种方案：

- 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，在乘以平均利用率70%后，可得出功耗预算为554 W。
- 将PXI系统中所有模块的最大功耗相加，得出非常准确的功率预算值。有关详细计算PXI系统功率预算的示例，请参见图5。

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。

在以下准确计算PXI系统功率预算的示例中，使用的是系统吞吐量为24 GB/s的PXIe-1085 PXI机箱，其中包括一个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，一个PXIe-6570数字模式仪器、两个PXIe-4081 7 ½位数字万用表(DMM)和四个PXIe-2527多路复用开关模块。有关如何计算PXI系统功率预算的说明，请参见图6。

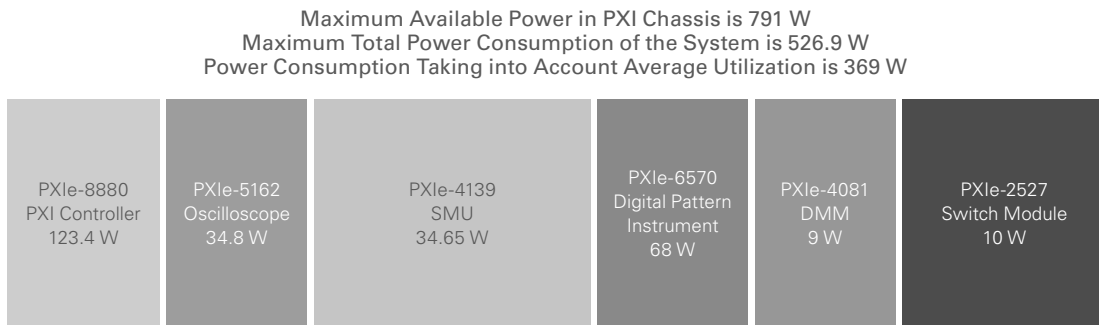


图 5 | PXI机箱的总功耗是机箱中所有模块的功耗之和。如上图所示，一个完整的仪器机箱在最坏情况下的功耗为526.9 W。

配电单元

PDU主要用于获取输入电源信号并将其分配到多个电源输出口，从而为系统的各个组件供电。PDU的这些内部电源插座具有额定电压和电流，通常既可用于交流电也可用于直流电。

最佳PDU选项具有诸多特性：

- 远程开/关使操作员能够通过电源机构和EPO更改电源状态。通过这种方式，操作员可以从一个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球EPO机构禁用系统中的电源。
- 内置保险丝等电路保护装置，可以保护贵重但脆弱的设备免受意外电力事件的影响，从而节省数万甚至数十万美元。
- 插座组排序可以确保特定设备在其他组上电之前先上电。例如，连接到外部控制器的PXI机箱或从另一个主PXI机箱扩展的PXI机箱需要在主机控制器之前启动。在这种情况下，PDU应在启动包含主PXI机箱的插座组之前启用包含从PXI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中设备的过流情况。例如，有一个PDU包含三组电源插座，每组可提供16 A电流，这样就可以防止连接到PDU的任何一台设备的电流超过16 A。这也意味着必须注意跨多个组分配设备所需的电流。
- 直流电源可以为状态LED或冷却系统等组件供电，这些组件同样需要远程开/关和组排序。其中一些组件甚至在“电源启动”系统状态下非常有用，从而需要远程供电功能。

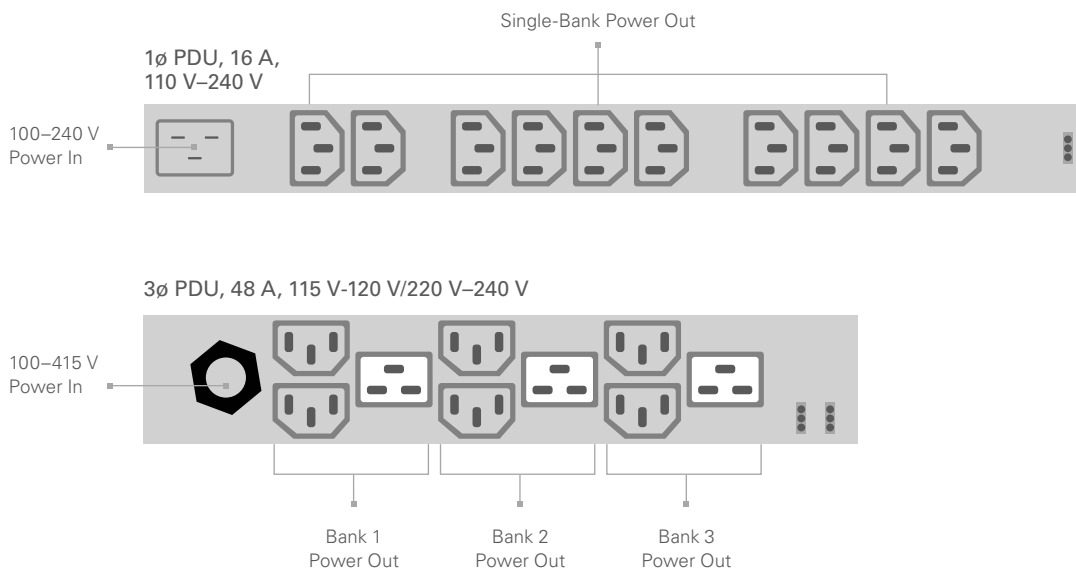


图 6 | PDU可采用不同的接线方式和架构。上面的PDU只有一插座组，可为设备提供最高16 A的电流，而下面的PDU具有三个插座组，每个组可提供16 A的电流，总共可提供最高48 A的电流。

为测试系统中的关键组件供电

确保测试系统中的关键组件(如主机控制器和敏感仪表等)能够通过UPS供电。测试系统中的有些组件乍看起来不起眼,但其实很重要。例如,如果冷却系统在电源事件后未恢复运行,则主机控制器可能会过热。如果测试系统中的触摸面板显示器断电,技术人员将无法排除故障或记录电源事件数据。仔细思考会发现有些组件需要时刻保持运行状态,甚至是在停电后或紧急情况下也不例外。

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等。过热或网络连接断开可能会导致生产中断,这与测试仪器发生故障一样具有危害性。

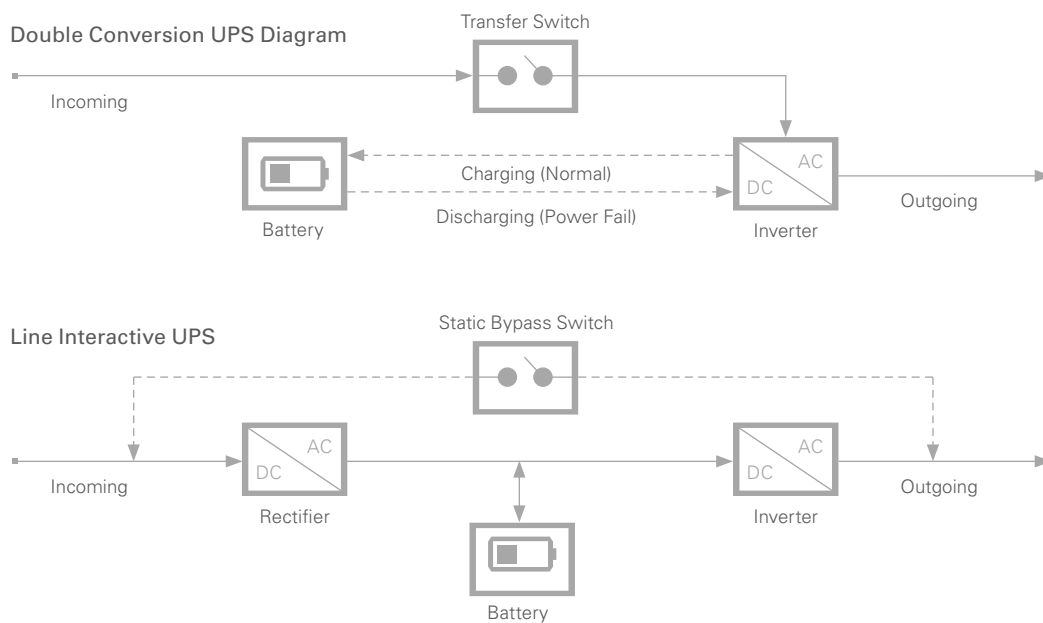


图 7 | UPS用于提供清洁、可靠的电源,也允许在停电或掉电的情况下正常关机。双变换UPS始终为电池充电,从而为系统提供稳定的电源。

不间断电源

优秀的测试系统设计工程师会考虑电网的质量，在设计系统时会设法避免在停电或掉电的情况下出现未定义的行为。无论是在上述情况下，还是在正常运行期间，都可以使用UPS为测试系统中的关键组件供电。

UPS可以提供可靠的电压和电流，并且还可以在发生停电或严重掉电后充当电池电源。UPS是确保测试系统坚固耐用的关键组件，在电网不可靠的区域更是如此。

UPS主要有以下两种类型：

- **在线互动式UPS**—在在线交互式UPS中，有源线路输入直接连接到电源输出。UPS随后会监视输入功率，以确保其不会低于给定阈值。如果输入功率下降幅度过大，则会切换到电池，电池随后通过反向运行UPS来为输出信号供电。在这种情况下，测试系统在运行期间无需任何调节即可接收线路功率，并且UPS会在电源出现故障时为其供电。
- **双变换UPS**—双变换UPS将输入电源线连接到电池，电池会持续充电，然后为UPS的输出线路供电。双变换UPS的电源非常稳定，因为它通过板载电池供电。双变换UPS还有一项额外优势，电池总是充满电，可以随时用作备用电源。如发生停电或严重掉电，无需切换电源即可使关键系统正常关闭。尽管双变换UPS的效率略低，但能够始终在测试系统内提供稳定、准确的电源，因此成为ATE应用的理想之选。

电源质量和可靠性

世界上没有完美的电网，但大多数电气设备的设计都是以理想的电源条件下运行为前提。当电网提供的功率与设计系统功率不同时，系统就不能按预期运行，仪器可能会出现测量效果不佳或输出信号不正确的情况。设备和系统

可能会意外开启和关闭，导致重要设置丢失或默认设置不正确。这种意外行为可能导致测试结果不理想、待测设备(DUT)受损，甚至更严重的后果。双变换UPS还有一项额外优势，即持续进行滤波，使用输入电源为内部电池充电，然后提供高度可靠、清洁的电源。

停电和掉电

当电网供电完全关闭时，就会发生停电。在电网发达的情况下，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) 由电池为系统中的部分或所有组件供电，使其运行一小段时间，以便正常关闭；(2) 因停电而直接关闭。

掉电和电涌在电网中更为常见，尤其是在工厂等耗电量大的设施中，并且更难以处理，因为它们会导致系统出现不确定的行为。掉电可能是电网中的电压或电流骤降或出现毛刺，导致输入到测试系统的功率降低。浪涌是指电网的电压或电流瞬间高于正常水平的情况。

UPS内部配有电池，可以在发生停电或严重掉电后为测试系统中的必要设备提供充足的电源，为新电源(如发电机)上线供电留出时间。必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。在由电池供电的这段时间内，系统可以保存必要的数​​据，避免损坏或出现不安全的软件状态。

电源状态

测试系统通常需要具有多种运行状态，以便实现调试和维护、省电和安全等目的。

优秀的测试系统设计方案应能实现四种运行状态：

- **关闭**—系统完全禁用，没有电力通过线路滤波器或测试系统的任何内部组件。
- **启用**—电力通过线路滤波器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的主插座可能被激活。在某些情况下，PDU上的直流电源也会激活，用于为系统支持组件及其他组件供电。例如，在启用状态下，以太网路由器和实时系统控制器可以会通电，以便技术人员可以监测测试系统的运行状况。

- **开启**—切换到该状态后会进入测试系统的主上电序列。所有PDU都会接收电力并输出其他系统设备。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，分阶段启动电源序列是有帮助甚至是必要的。有关PDU的更多信息，请参见“电源布局”部分。
- **紧急断电(EPO)**—当用户或系统监视器识别到不可接受的工作条件时，EPO会立即切断测试系统的电源。



- System Power Disabled
- No Facility Power to the Line Filter



- System Power Enabled
- PDU Master AC Outlets Enabled
- PDU DC Outlets Enabled (Individually Controllable)
- PDU Standard Outlets Disabled
- UPS Disabled



- System Power Enabled
- PDU Master Outlets Enabled (DC Supplies—Fans, System Controller, ENET Router)
 - Individual DC Outlets Enabled (2 Bank Power-Up Sequence)
- PDU Standard Outlets Enabled (2 Bank Power-Up Sequence)
- UPS Enabled



- System Power Disabled
- No Facility Power to the Line Filter

图 8

测试系统需要具有多种电源状态，包括关闭、启用、开启和EPO，以确保高效运行。

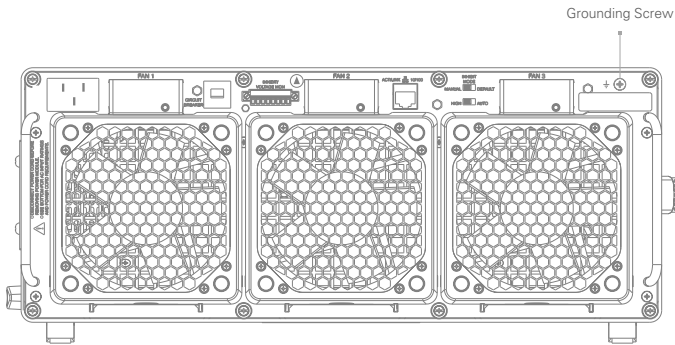


图 9 PXIe-1085 PXI机箱有一个接地螺钉，用于将机箱和所有仪器直接连接到外部接地模块。为保障安全，最好将机架中的所有设备都接地。

尽管上述接地路径通常即可满足需求，但如果将测试系统中的每个设备都单独接地，则可以保障安全。NI的电源输入面板有一个星形接地块，如图2所示，它连接到整个机架的所有其他接地模块。然后，电源输入面板外部的接地螺柱可以连接到机箱外部真正的接地线。此外，每台设备通常都有一个可以直接接地的接地螺柱。NI PXI机箱的接地螺钉如图9所示。将每个设备都连接到分布在整个机箱中的接地模块，可确保每个设备安全接地，并且所有接地引线都非常短，这有助于降低电磁噪声。

确保尽量缩短与接地平面的电气连接。接地回路较长会产生驻波，导致系统内出现射频辐射。如果需要使用较长的传输线连接到接地平面，应采用双绞线配置将信号与接地信号耦合，以此降低电磁噪声。如果是浮地或不以大地为参考，则应纳入信号的正负基准地。

紧急断电

当测试系统遇到严重问题或设施内发生紧急情况时，操作员需要能够干净利落地关闭测试系统的电源。测试系统内置紧急断电(EPO)机构，简化了连接并避免了直接开关电源。操作员可以使用EPO重置处于错误状态的系统，防止DUT受损甚至可以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。

EPO通常是一种方便使用的物理机构，例如按钮或开关，操作员只需按下它即可切断测试系统中所有设备的电源。理想情况下，EPO面板会与测试系统中的所有设备连接，以确保所有设备都能快速关闭。大多数EPO都会将系统置于关闭状态，需要将系统重置为启用状态后，才能重新激活系统并且为所有设备供电。这样可以防止系统在断电后在非安全条件的情况下意外重启。

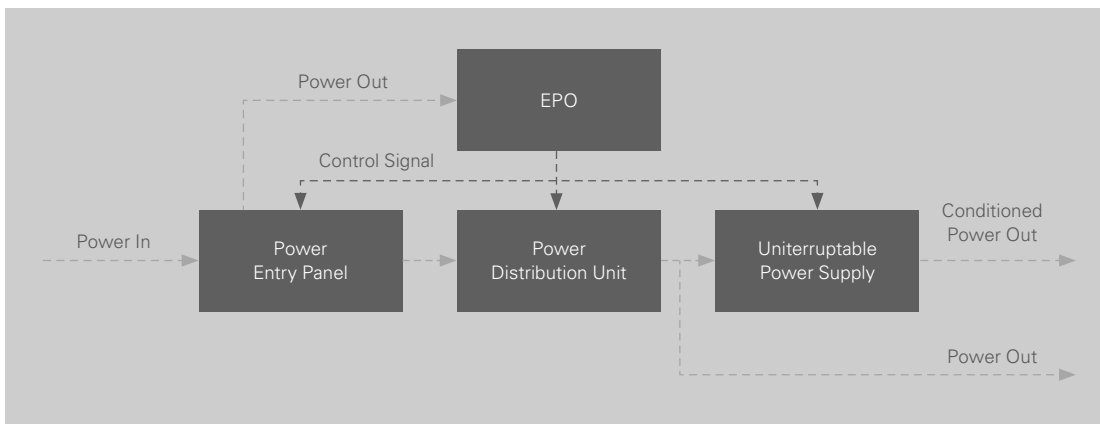


图 10 EPO连接到测试系统中的所有设备，必要时可禁用所有连接的设备以保持安全。

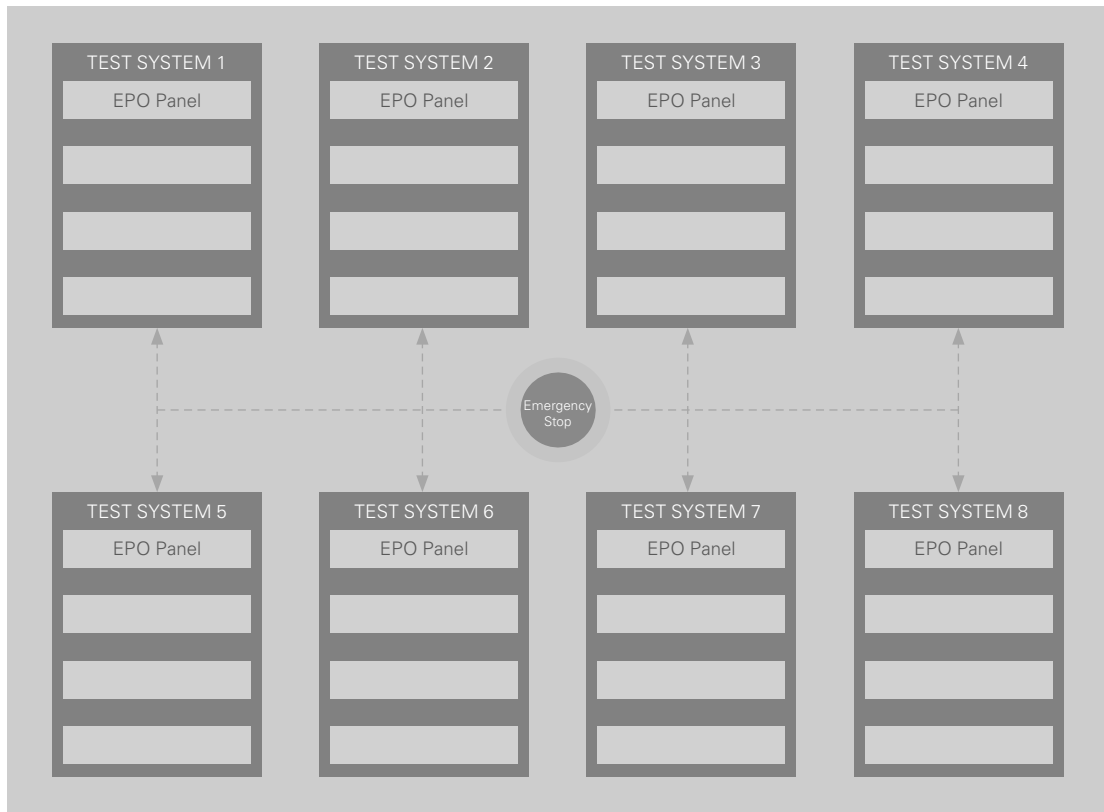


图 11 在某些情况下, 需要使用全局EPO来禁用设施中的所有测试系统及设备。全局EPO是一个断电机制, 可启用各个系统本地的EPO。

接地

接地是测试系统设计的关键部分, 原因主要有两点: 安全性和测量质量。

确保测试系统妥善接地可保障安全, 这意味着测试系统中所有设备的电流都可以通过适当的路径流向真正的地。电源输入面板必须连接到妥善接地的电源。之后, 应能够选择测试系统中的任一最终耗电设备, 并按照其接地路径返回电源输入面板。以太网开关的接地电流路径应遵循图1所示的测试系统电源布局。以太网交换机地连接到UPS地, UPS地应连接到PDU地, PDU地应连接到电源输入面板的地。接地回路会形成一条流向地的电流路径, 防止在系统中积聚危险电荷, 避免产生的电弧造成DUT受损或操作员触电。

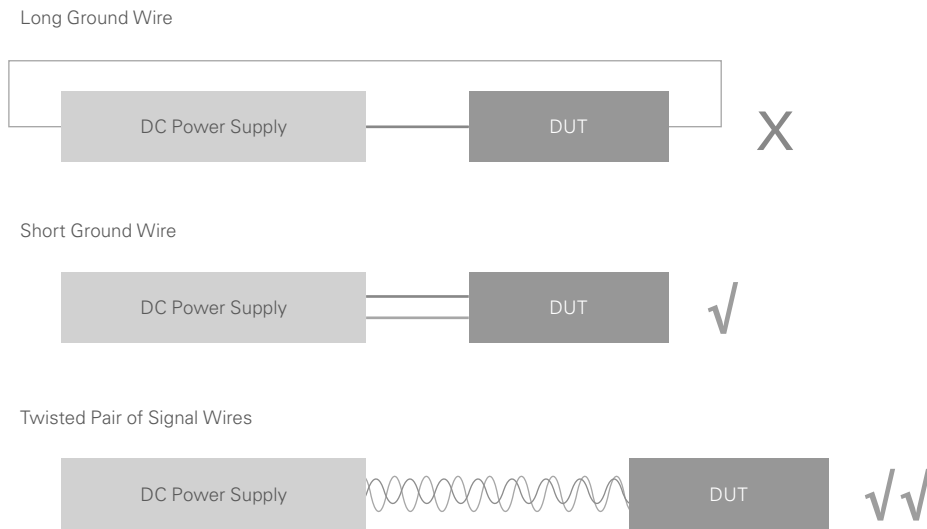


图 12 如果系统中的接地线较长、不匹配，可能会形成较长的接地回路并充当噪声信号的天线。最好使用短一些的接地线，但仍有可能无法避免噪声。为实现最佳性能，应在系统中使用双绞线作为信号线和接地线。

有关针对具体测量建立正确连接所需的全部信息，请参见白皮书《现场接线和噪声注意事项综合指南》。

组件采购最佳实践

材料的采购渠道与测试系统的构建方法可谓五花八门。如果构建的系统生命周期较长，则应考虑采购渠道能否长期提供支持以及系统是否具备应对未来新增需求的可扩展性。要实现这两点，最好从商业供应商处采购系统组件，因为这类供应商可长期为产品和消费者提供支持。人们通常会从供应商处采购PDU、UPS、系统控制器和仪器等组件，但从供应商处采购互连装置和线缆等小型组件可以获得长期回报。值得信赖的连接器供应商和测试仪器供应商会全力为您服务，让您的系统能够运行长达十年之久。

在极少数情况下，测试系统可能会因为一些特殊要求或合乎情理的原因而无法使用市面上的产品，这时需要选择定制设备和解决方案，专攻此类解决方案的公司有许多。但请记住，这类解决方案通常是为个别消费者量身定制的，因此随着时间的推移，很有可能性能会发生变化或变得过时。