

# 针对自动测试设备的 配电网络设计



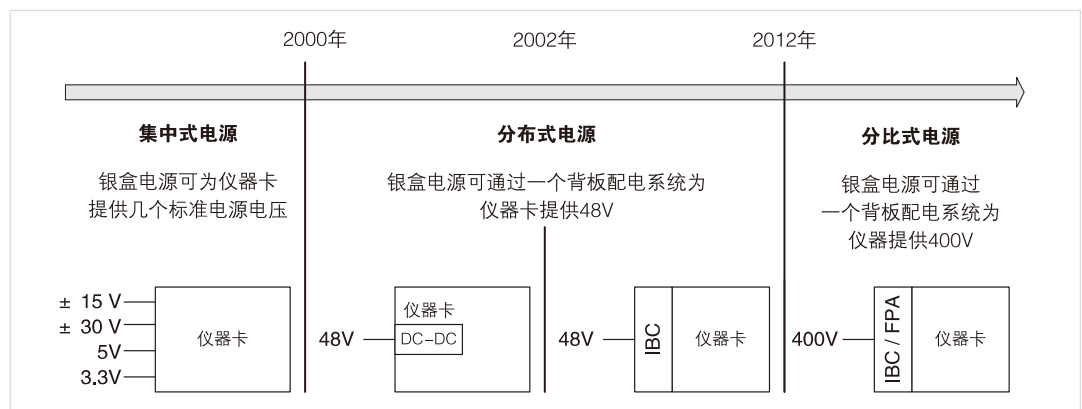
作者：Maurizio Salato  
系统工程总监  
2013年12月

## 从集中式电源到ATE的分布式电源架构

以往，自动测试设备（ATE）一直是采用集中式电源架构构建的。银盒电源可提供数量有限的标准化供电电压，然后将其提供给各个测试卡。这样的安排是有效的，也很便捷，因为仪器卡电路并不需要很大的功率：大部分线性稳压的电压来自最近的可用电源电压，它从集中式银盒电源提供给每个卡。此外，早期的DC-DC转换器价格昂贵，体积大，噪声大，而且电源设计人员也不熟悉。

由于仪器卡要求的通道和负载在数量和多样化方面的增加，分布式电源架构已成为必然的选择。一个简单的、集中式“大容量”功率器件可为背板配电系统提供一个经稳压的较高的DC电压，它通常为48V。DC-DC转换器占用了测试卡周边的部分区域，其输出紧密匹配测量电路的需要。

**图1：**  
随时间推移的ATE  
电源配电架构演变



今天的测试电路需要更多的电力进行操作，而且电压/电流要求的范围很广。与此同时，测试仪器需要的不仅仅只是功率，而且要能够快速准确地调节各种电压轨，以完全表征一个被测设备（DUT）的模拟分区。先进设计的VSLI或者SOC性能和密度的提高驱动着电源系统成为ATE的一个关键部分。

“更高密度”、“更高动态”的趋势同样是48V范围电压的挑战，因为较高的电流需要在密集的电路板内有较大的铜截面。今天，人们正在探索一些新的概念，包括分比式电源架构和400VDC配电。

接下来，我们将分析仪器卡和DUT要求如何影响一个ATE系统内的电源配电架构，以及优化一个ATE机架内的配电网络需要考虑的主要设计参数，其中包括各种仪器卡和测量电路。

## 配电网络设计注意事项

正如上段和图2所示，集中式电源已经被废弃了相当长的一段时间，而采用背板配电方式的分布式电源是今天标准的做法。很长的一段时间，电信和数据通信行业一直在使用这种方法，而且在许多方面面临着与现代ATE同样的挑战。其实，ATE需要验证和表征的很大一部分硅芯片是应用于通讯系统，计算和路由系统中，这两个“领域”之间最显著的相似之处是需要密集和精细的电源系统，虽然有不同的目标：ATE是吞吐量和灵活性，电信和数据通信系统则是总拥有成本（TCO）。

### 材料清单

目标：尽量减少材料清单。

配电材料清单直接受一个主要参量的影响：背板配电电压。配电损耗的考量应该权衡所选择的铜截面。ATE主要需要关注的问题是避免出现热管理问题；因此，配电损耗应保持在可以通过现有冷却系统容易管理的范围之内。此外，如果仪器卡需要热插拔，在每个卡上应安装适当的Oring（合路）器件。表1提供了电信数据中心研究得出的一个指南。在ATE需要超过20kW时仅限于支持高度并行测试的ATE，很显然，48V背板可能不再是最好的选择。

表1：  
优化总拥有成本的可传输功率与配电电压

背板或中间配电DC电压	最佳功率范围
12V	高达5kW
48V	4kW至20kW
380V	大于15kW

### 运行成本、效率和损耗、热管理

目标：通过控制配电损耗优化热管理系统。

直到此时，我们都是把重点放在背板配电上。虽然背板上的散热管理通常不是很困难，但是控制仪器的卡电源系统可能是相当具有挑战性的。此外，仪器卡上的电源总线占用了卡本身“宝贵的空间”。因此，最合理的选择是尽可能接近实际负载分配卡上的底板电压，它可能是测量电路，或者是一个板上DC-DC转换器。很明显，如果使用了一个低电压背板——例如12V——PCB上的铜不仅应该要大小合适，而且还要有适当的冷却。

一个不太明显的方面是很难准确地补偿随电流水平增加而下降的DC（ $I^2R$ ）和AC（ $L \cdot di/dt$ ）。设计人员可能需要特大型转换器的电源传送电路（powertrain），以及随电源配电电压降至低于48V而增加滤波和去耦网络。

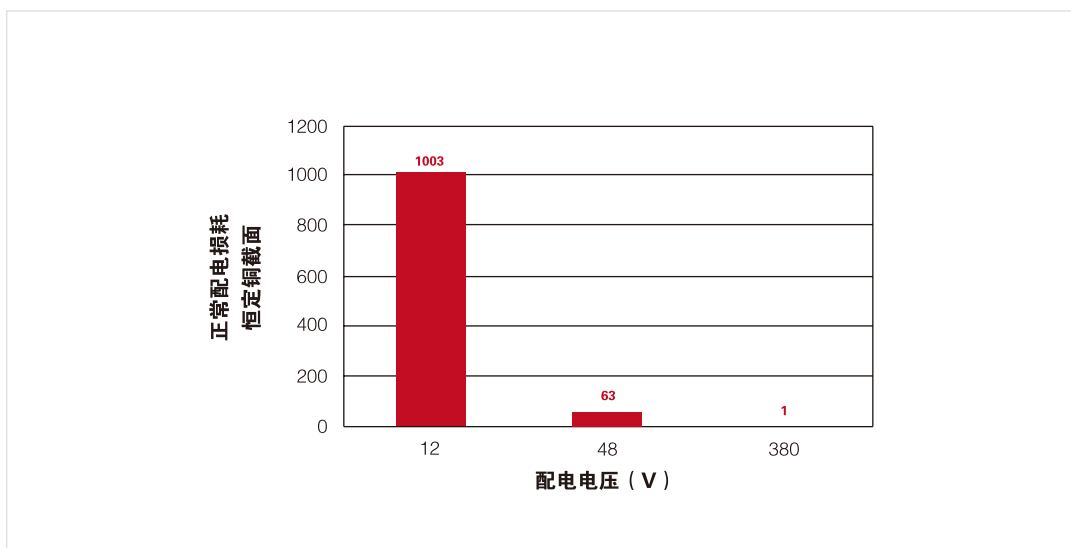
## 运行成本、效率和损耗、热管理

目标：实现测试卡设计和配置的最高度灵活性。

仪器卡有不断增加的负载范围要供电。因此，有精细元件的电源系统可为设计人员提供明显的优势。一个有效的方法包括采用中间总线架构，其中的背板电压被有效地降低到一个较低水平，然后“中间”总线电压通过一个标准同步降压负载点转换器进行稳压。

在灵活性范例中，一个设计的再用已成为不同电源统中利用标准化的一种常见选择。设计人员可以利用一组有效设计“提供和定制”稳压器，为的是在电气方面符合特定负载，并将其放在尽可能接近负载本身的地方，以实现最大的动态性能。稳压器的集群将由一条中间总线来供电，并通过一个总线转换器来维持。虽然良好的设计做法将要求总线转换器功率吞吐量与下游稳压器的需求匹配，但限制通常会出现现在有效地分配“板上”中间总线的过程中。在一个12V中间总线电压下，即使只是300W的分配也意味着要传送25A，这对高密度的设计是一个挑战。

图2：  
正常配电损耗  
与配电电压的关系  
(恒定铜截面)



## 可靠性和冗余性

目标：通过可靠性和冗余性设计实现最大程度的系统可用性。

配电网是复杂设备、上电测量系统和被测设备的“脊髓”。由于一个ATE的寿命通常是以数十年来衡量的，确认和控制关键元件的“平均故障间隔时间 (MTBF) 是非常必要的。这包括：

- **适当的电气降额和热降额：**虽然降额通常被视为减少热应力的一种手段，但高电流密度也可能造成故障机制。PCB走线的电子迁移就是一个例子。
- **冗余：**危及机器可用性的关键元件的故障应该作出冗余和可现场更换的规定。

---

## 可维护性和诊断遥测

*目标：实现最高水平的模块化，并提供整个系统生命周期的系统在线诊断功能。*

背板配电方法本质上是高度灵活的，允许非关键负载（例如风扇）的热插拔，在设备运行时可在现场更换。不过，在配电网络的另一端也应该规划同一水平的灵活性，以便容易对大容量电源系统进行操作。

诊断也已成为一个重要方面。有必要迅速发现和隔离元件或子系统问题，以防止系统受到传输失败的影响。虽然在集中式电源架构的情况下几乎是不可能的，但分布式和分比式电源架构可为自动电源配电网络诊断提供一种手段。传统上，分布式电源架构采用了一种“裕量”技术，其远程DC-DC转换器是由一个预设置序列和一个DC或AC动态所获得的专用反馈网络验证来控制的。现代电源组件和分比式电源架构提供了一个更简单的数字接口，其监督控制实际上可以通过一个通用串行总线接口实时轮询状态信息，通常是I2C或UART。

## 噪声源与抗干扰

*目标：尽量减少系统内的EMC和EMI，去耦的配电网络可降低传导和辐射干扰。*

EMC和EMI通常被认为是电源设计的“黑色魔术”。不过，一些基本规则普遍适用。首先，确定噪声源；第二，尽可能接近源地控制或过滤噪声（假设不能完全避免噪声）。不幸的是，配电网络是分布系统内传导噪声，以及机架周围的辐射噪声的一个很好的传播途径。因此，极为重要的是实施适当的滤波，如果不是在个别DC-DC元件级别，至少是在每个仪器卡上，以通过背板来避免串扰。

一个特别大的问题是在背板上以及中间总线生成的低频噪声。这是由于各个转换器的输入电流的相互作用引起的，然后出现了低频差拍。设计人员可以尝试通过确保的所有开关电流分量能足够的限制在每个转换器内来避免这个问题。

## 结论

配电网络设计是最先进测试系统的一个挑战。它存在一些权衡，需要仔细评估选择的电源系统架构。虽然来自48V背板的分布式电源架构是今天的常见选择，诸如来自400V DC配电的分比式电源等先进架构正变得越来越有价值，因为它们可以通过提供更高的效率和更高级别的精度来提高系统密度。图3显示了一个针对400V DC配电负载点供电的标准两级设计的实例：在左边，一个前端模块包括两个400V总线转换器（在散热片下有一个靠近所示曲别针的模块）；在上部，是一个多相稳压模块（VRM），采用了经典的12 V降压转换器方法。

**图3.**  
采用380VDC配电的  
负载点标准解决方案实例



*The Power Behind Performance*