

Application Brief

半导体自动测试设备 (ATE) 测量卡



Samiha Sharif and Josh Brown

简介

测试仪行业面临的一个挑战是，如何在显著增加测试仪时间、尺寸或成本的情况下，满足对大量测试通道的需求。尽管半导体测试仪（也称为自动测试器件(ATE)）种类繁多，但在大多数测试仪都包含三种主要卡：电压或电流测量卡（V/I 卡）、引脚电子卡（PE 卡）和器件电源卡（DPS 卡）。本应用简报重点介绍 ATE 系统中这三种卡的架构和功能。

电压或电流测量卡

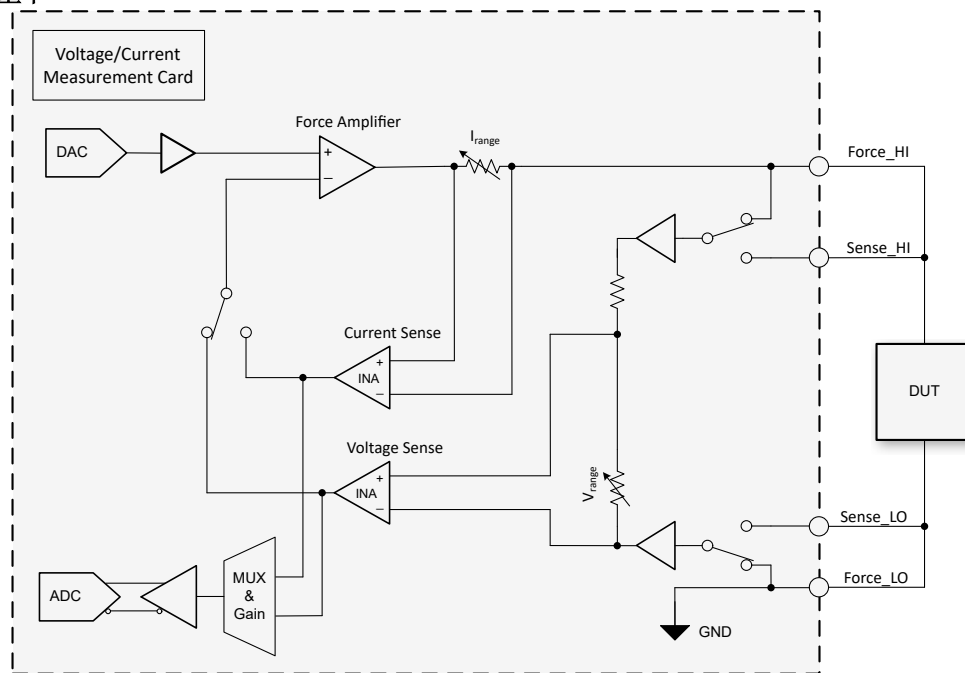


图 1. 电压或电流 (V/I) 测量卡方框图

电压或电流测量卡功能：

电压或电流 (V/I) 测量卡通常是测试仪上最精确的卡，用于评估被测器件 (DUT) 引脚的精确直流特性。该卡上的所有或部分元件可以集成到单个芯片中，也可以分立实现。集成芯片称为参数测量单元 (PMU) 芯片，如 [TSMU818A030](#)，它是一款 8 通道、18 位、30V、100mA 输出、高电容驱动的 PMU。一块 V/I 卡可以有多个通道来测试 DUT 上的引脚，而一台测试仪可以有多个 V/I 卡。V/I 卡能够强制向 DUT 施加稳定的电压或电流源，选择合适的放大器对于验证精度可靠性至关重要。该卡上的 ADC 以电流或电压测量的形式传感来自 DUT 的电气响应，以评估 DUT 并确定其特性。

PMU 通常有四个运算象限，如下所示：

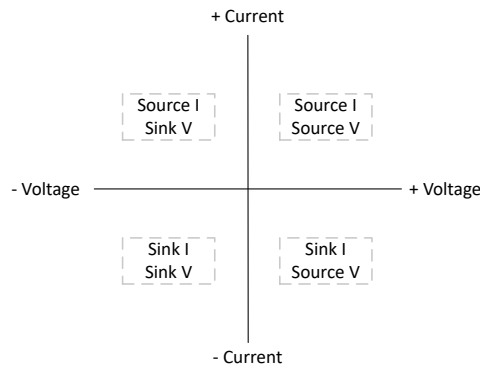


图 2. PMU 四个运算象限

PMU 支持以下模式：强制电压 (FV)、强制电流 (FI)、测量电压 (MV) 和测量电流 (MI)。强制电压和电流电平由精密 DAC 和量程设定电阻器设置，通常使用数字接口进行设置。DAC 与量程设定电阻器的组合使 V/I 卡能够在强制施加电压与电流时实现精确控制。

精密 ADC 将 PMU 的模拟测量输出数字化，以确保 DUT 符合预期的器件直流规格。为了正确测量 PMU 的传感输出，ADC 必须具有足够的输入范围和性能，例如与 PMU 相比具有相同或更好的分辨率或 INL。ADS9813 是一款 18 位、8 通道、2MSPS/CH、同步采样 ADC，总未调整误差 (TUE) 为 0.001%，非常适合此应用。请参阅[用于测量参数测量单元 \(PMU\) 模拟输出的精密 ADC 应用简报](#)。

电压或电流测量卡架构：

模拟控制环路可确保使用精密 DAC 和强制放大器的强制电压或电流稳定且精确。强制施加电流时，使用可编程电压钳位以防止电压瞬变；强制施加电压时，则使用可编程电流钳位以防止电流瞬变。强制电压或电流通过可变量程设定的分流电阻器进行测量。然后，仪表放大器 (INA) 会放大分流电阻器上的压降，此传感输出用于完成模拟控制环路。有关精密放大器选择的更多信息，请参阅[如何为半导体测试仪选择精密放大器应用简报](#)。

如需进一步监测，精密 ADC 还可测量电压或电流传感输出。电压或电流传感测量值可以多路复用到同一个 ADC 输入通道，也可以将测量值路由到单独的 ADC 输入通道。如果使用多路复用器，则 ADC 需要足够的带宽，才能有多路复用器输出切换时准确捕获 PMU 传感信号的变化。ADS9813 是 ADC 的理想选择，其宽带宽输入高达 400kHz。ADS9813 的高通道密度支持更多 PMU 单元并行运行，从而减少测试时间和成本。ADS9813 能够同时对输入信号进行采样，这在测量对顺序采样引起的输入通道间相位延迟敏感时非常有用。ADS9813 器件的完整集成模拟前端具有过压输入钳位、1M Ω 输入阻抗、独立的可编程增益放大器 (PGA)、可编程低通滤波器 (LPF) 和 ADC 输入驱动器。该 ADC 还具有低漂移精密基准，以及用作外部基准的集成式输入缓冲器。这些特性减小了 V/I 卡等半导体测试仪卡上的信号链尺寸，而缺少额外的外部元件降低了 PMU 输出和 ADC 输入之间的误差贡献。

为提高精度，该卡的 PMU 和 ADC 部分需要共享一个通用基准电压。共享基准电压意味着 PMU 基准路径中的噪声会反映在 ADC 基准路径中，从而抵消噪声。该卡上各种元件（如 DAC 和 ADC）的输入、输出和 IO 电平通常使用 FPGA 或 ASIC 进行配置和评估。因此，这些元件的接口必须与 FPGA 或 ASIC 兼容。

器件电源卡

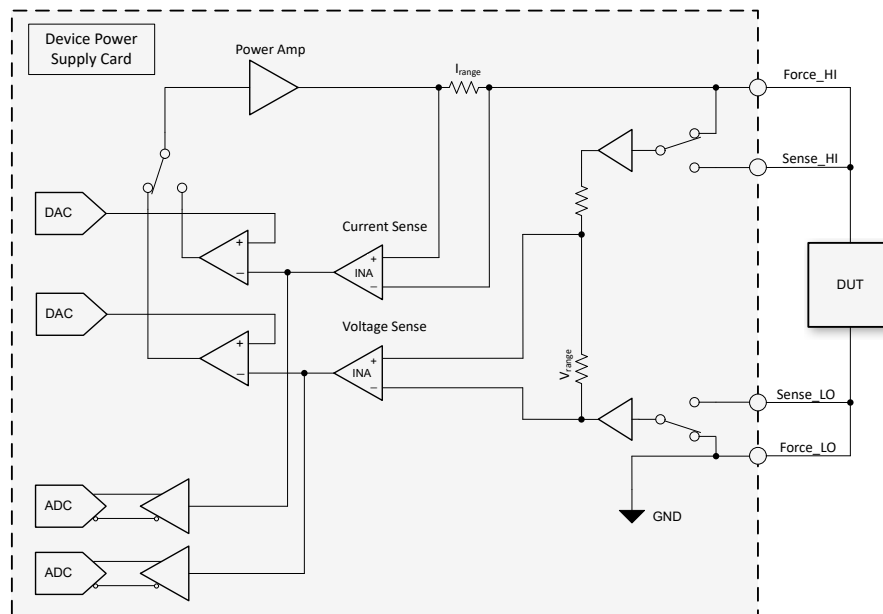


图 3. 器件电源 (DPS) 卡方框图

器件电源卡功能：

器件电源 (DPS) 卡与 V/I 卡类似，但 DPS 卡能够为负载电容较大（例如 10 μ F 或更高）的 DUT 驱动更高的电流。DPS 卡是一种专用电源，可为 DUT 电源引脚提供必要的电压。DPS 卡有两条连接到 DUT 的线路：一条强制线路，用于供电；一条传感线路，用于监测供电。DPS 卡可以在两种不同的模式下运行：强制电压 (FV) 和强制电流 (FI)。在 FI 中，DPS 充当 DUT 的电流源，馈送电流直至达到所需的电压电平。通常，具有内置的可编程安全限值，能够在电压超过设定值时钳制电压。这样可在达不到所需电压水平时防止损坏 DUT。在 FV 中，DPS 用作 DUT 的电压源。与 FI 类似，DPS 卡通常内置可编程的安全限值，确保电流不超过特定的限值并可能损坏 DUT。

器件电源卡架构：

目前使用的大多数 DPS 卡都使用模拟控制环路来控制电压和电流。但是，由于模拟控制环路需要针对各种复杂负载进行补偿，因此模拟控制环路通常存在较长趋稳时间或信号振铃的问题。数字控制环路可用于缓解这些问题。有关数字控制环路的更多信息，请参阅[利用 ADS9219 为数字控制环路设计低延迟信号链应用简报](#)。

DPS 卡中的典型模拟控制环路包括以下元件，如[器件电源 \(DPS\) 卡方框图](#) 中所示：精密 DAC 可驱动控制环路，强制实施电流和电压的直流电平。DAC 需要具有低噪声、低漂移和快速趋稳时间，以便保持精确、快速的环路响应时间。德州仪器 (TI) 的 [DAC11001B](#) 通常用于此应用。环路内有一个开关，可以从 FV 更改为 FI。系统中存在一个放大器，用于强制实施电流和电压，然后通过 ADC 读取。系统中存在的 ADC 不在环路中，仅用于对传感路径进行精密测量。ADC 测量环路外部的电压和电流，以向处理器报告状态。ADC 需要具有高分辨率、高直流精度和低漂移的特性，如 [ADS8598H](#) (18 位、8 通道、500kSPS/CH、同步采样 ADC，典型 INL 为 ± 2.0 LSB) 和下一代 [ADS9813](#)。

引脚电子卡

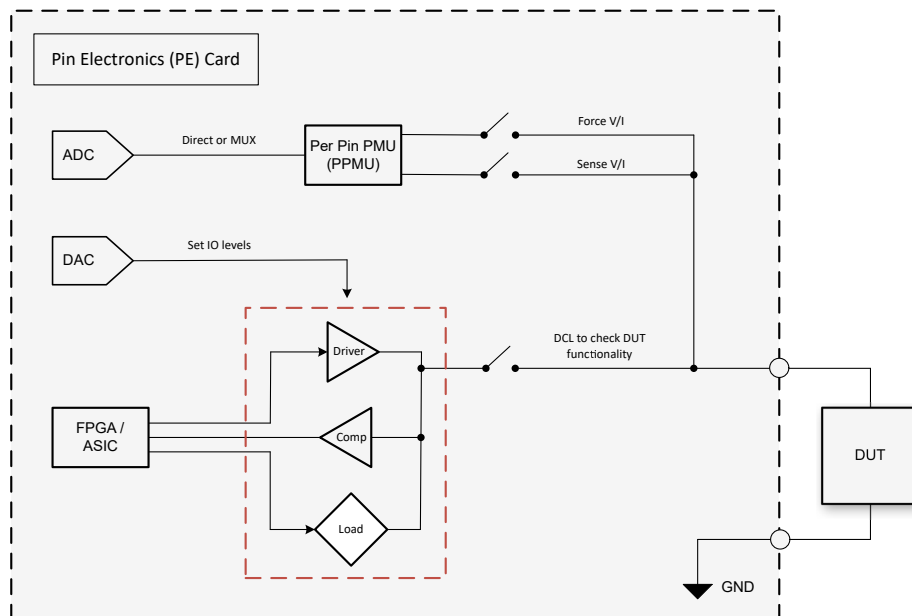


图 4. 引脚电子 (PE) 卡方框图

引脚电子卡功能：

引脚电子 (PE) 卡可对 DUT 的引脚执行各种基本功能测试。在所有三种卡中，PE 卡通常是测试仪中数量最多的卡。PE 卡执行开路和短路测试，以确认 DUT 引脚上的电压和电流钳位正常工作。例如，还需要测试电源引脚上的 ESD 二极管。PE 卡还会执行交流参数测试和直流参数测试，不过这些直流测试的精度低于 V/I 卡执行的测试。交流参数测试包括测量 DUT 时序特性，例如设置或保持时间以及读取和写入时间。直流参数测试包括测量 I/O 引脚 VOH、VOL、VIL、VIH 以及电源引脚电流和电压电平。所有这些测试可确保对电子器件进行全面评估和特性鉴定。

引脚电子卡架构：

PE 卡包含许多元件，包括驱动器、比较器、负载、每引脚 PMU、DAC 和 ADC。每一个元件都会在不同的功能测试中发挥作用。驱动器向 DUT 提供精确的电压和电流信号，从而支持在各种条件下进行功能测试。比较器将 DUT 的输出与基准进行比较，通过检测差异来评估性能。比较器可为差分比较器或窗口比较器，而输出是逻辑值，可传送至 FPGA 或 ASIC 进行评估。负载（有源或无源）可通过向 DUT 施加受控负载来模拟真实世界的工作条件，从而有助于进行准确的性能评估。无源负载通常有一个开关，支持选择到 DUT 的不同电阻端接。有源负载是一种可编程负载，可使用卡上的 DAC 设置灌电流和拉电流。PE 卡还包含与 PMU 类似的每引脚参数测量单元 (PPMU)，但测量电压和电流等电气参数的精度和分辨率较低。DAC 通过数字输入生成精确的模拟电压，这些电压对于设置基准电平和控制 PE 卡内的其他元件至关重要。ADC 将来自 DUT 的模拟信号转换为数字数据以进行分析，从而实现了对 DUT 模拟输出的精确监控和评估。

通常，PE 卡上有许多 PPMU，而这些 PPMU 对电压和电流测量的精度要求不像 V/I 卡上的 PMU 那么高，因为 PE 卡仅执行基本测试。因此，可以使用具有足够带宽的单个多通道 ADC 对 PE 卡上的多个 PPMU 进行多路复用和监测，以在两次测量之间稳定下来，如[用于测量 PMU 模拟输出的精密 ADC 应用简报](#)中所述。[ADS9813](#) 就是这样一款 ADC，其具有高达 400kHz 的宽带宽输入。

结语

随着半导体需求的持续增长，可靠而精确的测试设备变得越来越重要。V/I 卡、DPS 卡和 PE 卡在测试设备中发挥着重要作用，可对 DUT 引脚进行精确、可控的测试。但制造商面临的一个挑战是，如何在不断增加测试仪时间、尺寸或成本的情况下增加每种卡的测试仪通道数。幸运的是，德州仪器 (TI) 提供了卓越的设计来应对这一挑战，使制造商能够设计和开发更高效、更有效的测试解决方案。

表 1 显示相关器件。

表 1. 用于半导体测试仪的器件汇总

器件	说明
ADS9813	18 位、8 通道、2MSPS、CH、同步采样 ADC
ADS8598H	采用单电源并具有双极性输入的 18 位 500kSPS 8 通道同步采样 ADC
TSMU818A030	8 通道、18 位、30V、100mA 输出，高电容驱动 PMU
DAC11001B	具有超低噪声、低干扰和出色 THD 性能的 20 位单调高级 DAC
OPA593	85V、100 μ V、宽带宽 (10MHz)、高输出电流精密运算放大器
PGA849	低噪声宽带宽精密可编程增益放大器
INA849	超低噪声 (1nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$)、高速 (28MHz、35V/ μs)、精密 (35 μV) 仪表放大器

相关文档

文献编号	文档标题
SBAA572	利用 ADS9219 为数字控制环路设计低延迟信号链
SBAA578	用于测量参数测量单元 (PMU) 模拟输出的精密 ADC
SBOA449	如何为半导体测试仪选择精密放大器

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司