

学子专区—2017年12月

什么是信号源测量单元 (SMU)?

作者: Doug Mercer



信号源测量单元 (SMU) 是一种将信号源功能和测量功能结合在同一引脚或连接器上的仪器。它可以提供电压或电流, 并同时测量电压和/或电流。它将电源或函数发生器、数字万用表 (DMM) 或示波器、电流源及电子负载的功能集成到单个紧密同步的仪器中。

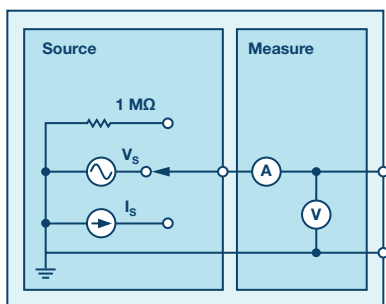


图1. 一个ADALM1000 SMU通道的框图。

ADALM1000本质上是一款信号源测量单元, 但也可将其视为独立的示波器和函数发生器。但当分而视之时, 由于输出功能 (发生器) 和输入功能 (示波器) 共用一个引脚, 因此一次只能使用一个功能。

可编程信号源测量单元为什么很重要?

对于某些类型的测试, 可编程仪器可能并不重要。您可能只想读取一次或少量次数。但有很多情况下, 可能需要收集大量数据, 以便生成性能随时间变化的曲线或图表。不过, 手动操作的话会非常耗时且易于出错。

还有大量不同的实验要求自动收集数据以获得更快速或更准确的测量结果, 或者获取长时间尺度 (数月甚至几年) 的测量结果。此时, 您肯定需要一台计算机来收集数据并将其导出到数据库中进行分析。

为什么需要负电压?

不是所有实验都需要负电压, 在某些情况下, 您可以避免使用。但是, 如果施加正电压或负电压, 许多不同类型的器件会以不同方式工作。为充分了解此类器件的工作原理, 我们需要能够改变所施加电压的符号。ADALM1000中的每个SMU通道只能产生0 V至5 V的电压 (相对于地)。它提供固定的2.5 V和5 V输出, 这些输出既能流出电流, 也能吸入电流。DUT可以连接在2.5 V输出和SMU输出之

间, 而不是接地, 以将DUT电压从-2.5 V扫描到+2.5 V。此外, 由于ADALM1000有两个SMU, 所以DUT可以连接两个SMU输出之间。一个通道从0 V扫描到5 V, 另一个通道从5 V扫描到0 V, DUT两端的电压便是从-5 V到+5 V。

举个例子, 考虑一个二极管——这种器件仅允许电流沿一个方向通过其中。为了评估二极管是否正常工作, 我们需要看看两个方向的电流是否均能通过其中。检查方法有两种。我们可以在一个方向测量二极管, 再手动转向, 测量另一个方向, 然后将数据组合在一起。然而, 如果我们施加正电压和负电压, 那么只需测量电流就行了。事实上, 这种技术非常有用, 常被用来表征很多具有类二极管行为的器件, 太阳能电池和发光二极管就是很好的例子。图2显示如何将二极管连接到ADALM1000以扫描-5 V至+5 V电压。

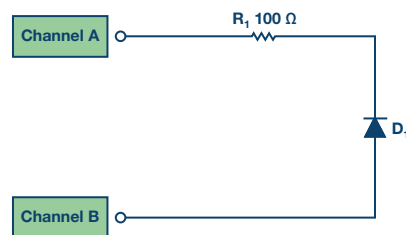


图2. 从-5 V到+5 V扫描二极管。

通道A编程为从0 V扫描至5 V, 而通道B编程为从5 V扫描至0 V, 通道间的差值出现在电阻两端, 用于限制电流和二极管。时域波形如图3所示。绿色曲线是通道A电压, 橙色曲线是通道B电压, 黄色曲线是通道B电流 (通道A电流未显示, 其与通道B电流刚好相反)。

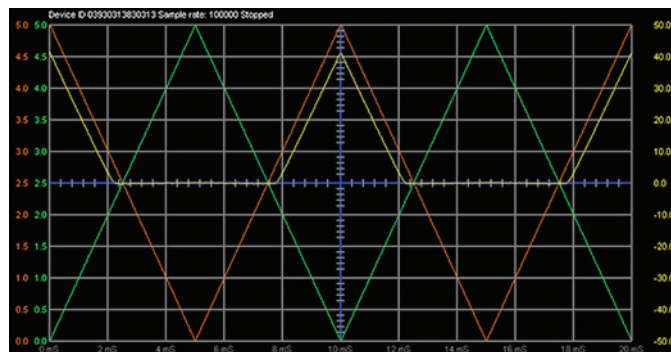


图3. 电压和电流波形与时间的关系。

我们可以将这些测量数据彼此对照以绘制成图，并同时进行一些简单的数学计算。我们想绘制的是通过二极管的电流与二极管两端电压的关系。为了计算二极管两端的电压，我们可以从通道A和通道B的电压之差中减去电阻上的压降 ($V = I \times R$)。下面的Python方程式 (用在ALICE中) 可执行该计算：

$$V_{\text{BuffB}}[t] - V_{\text{BuffA}}[t] - I_{\text{BuffB}}[t] \times 100 \, \Omega$$

其中100为电阻的值。二极管电流与该方程式的关系曲线如图4所示。

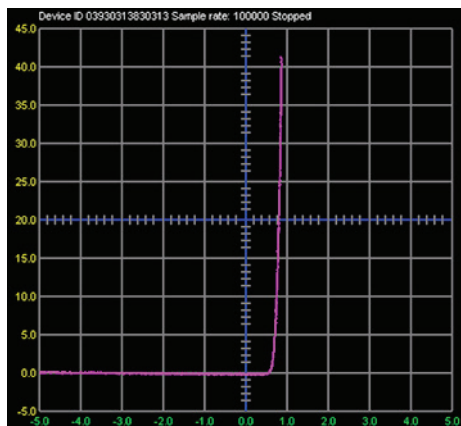


图4. 二极管电流与-5 V至+5 V电压的关系。

信号源测量单元有何用途？

许多日常物品都会通过SMU进行测试，作为工厂测试和质量控制流程的一部分。家中照明使用的LED灯和屋顶上安装的太阳能面板，都已利用SMU进行测试，这是制造过程的一部分。

ADALM1000专为正在研究下一代电子设备的工程专业学生使用而设计。从碳纳米管、量子阱异质结构到生物膜、生物传感器，要了解大量材料和器件如何导电，必须使用SMU。简言之，您可以利用ADALM1000去了解任何器件在DC或低频、-5 V至+5 V电压范围内的电气特性，并测量±0.1 mA至180 mA的电流。

能否举一个需要信号源测量单元的具体测量例子？

以太阳能电池为例。在研究实验室，工程师们正在寻找让太阳能电池效率更高、成本更低的方法。为了解太阳能电池的工作效能，实验室生产了一种小型测试器件，其尺寸可能只有几平方毫米到几平方厘米，然后表征其性能。这些测试电池太小，不足以产生超过照明功率 (例如单个LED) 的任何可用功率，但它们足以表征基本工作范围和效率。作为例子的这家实验室采用ADALM1000测量小型太阳能电池。

太阳能电池的关键特性是其将太阳能转化为电能的效率。为此，可以用已知强度的光照射测试电池，然后测量每单位面积产生的电功率。功率等于电压乘以电流，所以从测量所产生的端电压 (V) 和电流 (I) 开始。

要测量所产生的电压，可以在照射的时候将一个电压表连接在电池端子上。同样，在电池端子上连接一个电流表可以测量电流。将测得的电流除以太阳能电池的面积，便得到电流密度。

但有一个问题：用电流 (或电流密度) 乘以电压只能告诉我们，如果我们有一个理想器件，可以产生多少功率 (或单位面积的功率)。原因是电压表的内阻几乎是无限大，当用它测量电压时，不会有电流流过。这种情况下产生的是零功率 (实测电压 × 零电流 = 零)。这种测量称为开路电压测量。类似地，当把电流表放在端子上测量电流时，我们是在太阳能电池短路的情况下测试电池，因为电流表的内阻几乎为零。在这种情况下，存在电流但未施加电压。同样不会产生任何功率 (实测电流 × 零电压 = 零)。这种测量称为短路电流测量。

对于任何实际的太阳能电池，其输出电压将取决于所产生的电流大小，这就是为什么使用SMU的原因——在测量电流变化的同时可以改变电压。

图5显示了某一小型太阳能电池 (来自太阳能庭院灯的3 cm × 3 cm 太阳能电池) 的典型IV曲线。电流进入SMU通道 (被其吸收)，所以电流为负值。0 V时的电流是短路电流，0电流时的电压是开路电压。

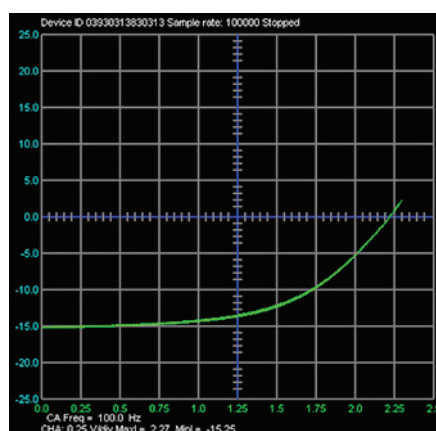


图5. 太阳能电池I与V的曲线。x轴：电压 (V)；y轴：电流I (mA)。

IV曲线告诉我们电压和电流如何变化，而且我们可以据此计算太阳能电池产生的实际功率量。图6所示为功率 (mW) 与电池电压的关系曲线。功率就等于 $V \times I$ 。下面的Python方程计算功率 (单位为mW)：

$$P = V_{\text{BuffA}}[t] \times I_{\text{BuffA}}[t] \times 1000$$

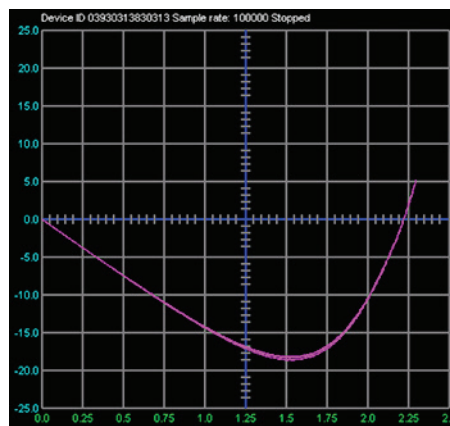


图6. 太阳能电池功率与电压的关系。x轴：电压 (V)；y轴：P – mW。

图中的峰值是产生最大功率的点（所谓最大功率点）。SMU吸收电池产生的功率，所以功率为负值。

如果使用图2中的技术，我们也可以在施加负电压（反向偏置）时测量太阳能电池。这给我们提供了一些有用信息。首先，它告诉我们该器件在反向偏置下不会击穿。这表明该器件质量很好。其次，它告诉我们是否有任何额外的可用电流。通过施加负电压，我们可以有效地从器件中吸取电荷，否则这些电荷不会出来。虽然这些吸取的电荷不能用来产生功率（我们此时实际上是将功率注入器件，而不是提取能量），但通过它我们可以了解一些光电流损失机制。因此，测量IV曲线是太阳能电池开发和优化中最重要的工具之一。同样，获得IV曲线对于了解各类其他器件，包括LED和OLED、晶体管、传感器等等，也非常重要。



图7. ADI公司信号源测量单元ADALM1000。

从这篇文章开始，我们将启动一个围绕SMU ADLAM100的月度系列，并展示一些有趣的实验。如果您想要了解这些实验并对ADALM1000感兴趣，您可以向我们的经销商索取：[Digi-Key](#)和[Mouser](#)。

测验：

问题1：

图5给出了太阳能电池的最大功率。哪个物理尺寸有影响？

问题2：

您能从太阳能电池获得的最大功率是多少？

问题3：

如何调用函数来使输出功率保持最高水平？（提示：参见ADP5091）

您可以在[学子专区博客](#)上找到问题答案。

Doug Mercer [doug.mercer@analog.com] 于1977年获得伦斯勒理工学院 (RPI) 电气工程学士学位。自1977年加入ADI公司以来，他直接或间接贡献了30多款数据转换器产品，并拥有13项专利。他于1995年被任命为ADI研究员。2009年，他从全职工作转型，并继续以名誉研究员身份担任ADI顾问，为“主动学习计划”撰稿。2016年，他被任命为RPI ECSE系的驻校工程师。



Doug Mercer