KEITHLEY

Application Note Series

Number 2639

基于2600A系列数字源表的高密度、可见光LED生产测试

引言

可见光二极管（LED）以其高效率和长寿命的特点广受欢迎，正获得越来越广泛的应用，包括汽车显示器和外部大灯、路灯、户外标识、视频监控器等。广大LED厂商在研发方面大量投入，已经推出了具有更高亮度、更新色彩和更长寿命的LED产品，将促使其具有更广泛的应用需求。现在比以往任何时候更加需要高性价比的测试方法确保这类器件的可靠性与质量。

在不同的生产阶段LED测试涉及不同类型的测试序列，例如设计研究与开发阶段、生产过程的晶圆级测量以及封装器件的最终测试。具体的测试“处方”通常包含多个步骤，以检验产品寿命，或者分析特定性能指标数据，但是这些内容超出了本应用笔记的范围。本文旨在提供关于这些处方所需“成份”的实际资料——帮助说明如何探测二极管特性的基本测试以及测试配置范例。本文还介绍了如何利用最新的测试技术提高测试产能，包括支持吉时利测试脚本处理器（TSP™）的测试仪器。

测试介绍

LED的测试通常包含电气测试和光学测试。本文重点介绍电气特征分析，也包括一定的光学测量技术。图1给出了典型二极管的电气I-V特征曲线。完整的测试应该包括电压幅值与电流工作点的关系，但是通过有限样本点的探测一般足够生成这些指数曲线。

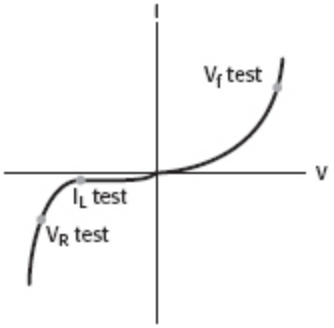

图1. 典型的LED直流I-V曲线和测试点（不能缩放）

某些测试需要提供已知的电流源然后测量电压，而另外一些测试需要提供电压源然后测量产生的电流。数字源表非常适合进行这类测试，因为它通过配置既能够提供电压或电流源，也能够测量这些信号类型。

正向电压测试（V_F）和光学测试

VF测试检验可见光LED的正向工作电压。当把一个正向电流加载到二极管上时，它就开始导通。在最初的低电流源下，二极管上的电压降将会快速升高，但是随着激励电流的增大，（电压上升）斜率将开始变缓。二极管通常工作在这个电压相对稳定的区域。在这些工作条件下对二极管进行测试也是非常有用的。正向电压测试（V_F）是提供一个已知的电流源然后测量二极管上产生的电压降。典型的测试电流为毫安量级，而电压的测量结果通常为几个伏特的量级。

正向偏置电流也用于光学测试，因为电流大小与发光大小紧密相关。在进行光功率测量时，要将光电二极管或累计球放在待测器件附近捕捉发出的光子。然后这些光被转换为电流，通过安培计或者数字源表通道就可以测量出这一电流。

在很多测试应用中，二极管的电压和光线输出可以采用固定大小的电流源同时进行测量。此外，频谱输出这类详细参数也可以通过采用相同大小的激励电流和分光计测量出来。

反向击穿电压（V_R）和漏电流（I_L）测试

给LED施加负的偏置电流可以测出所谓的反向击穿电压（V_R）。测试电流的大小应该设置为当电流再稍微增大时测出的电压不再明显增大的位置。当电压高于这一电压时，反偏电流如果大幅增加，反向电压则变化不大。这一参数指标通常用一个最小值来表示。测试时在一段特定时间内提供一个较低的反偏电流，然后测量LED两端的电压降。测量结果通常在几十伏的量级。

一般情况下，我们采用适度大小的电压（几伏到几十伏）来测量漏电流（I_L）。漏电流测试测量的是当施加一个低于击穿电压的反向电压时LED中泄漏的小电流。对于漏电流测量以及更一般的隔离测量，确保生产过程中不超过一定的阈值是一个常规做法。其中有两个原因。第一，低电流测量需要较长的稳定时间，因此需要较长的时间才能完成。第二，环境干扰和电子噪声也对低值信号具有较大影响，因此在进行屏蔽时需要额外小心。

这些额外的屏蔽措施会增大测试夹具的复杂性，并且可能会妨碍自动机械手。

测试系统介绍

单个LED的测试系统

图2给出了一个简化的LED测试台模块图。要实现自动化测试，其中应包含一台PC和一个元件机械手——用于晶圆级测量的一个探针台。

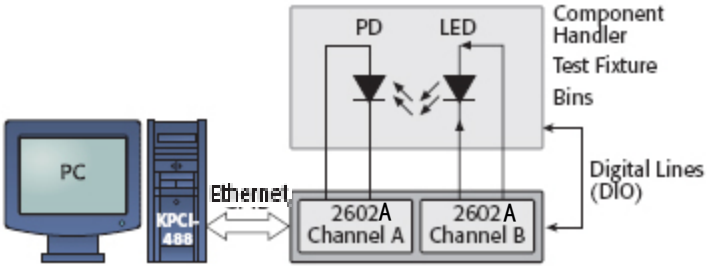

图2. 基于2602A的单LED测试系统的模块图

PC的主要作用是将测量数据存储在数据库中形成记录。第二个作用是针对不同类型的部件重新配置测试序列。

2600A系列仪器的一个独特之处就是其相对PC控制器的独立性。它们内部的测试脚本处理器支持用户编写自身可以独立运行在仪器上的完整测试规划。换句话说，用户可以编写完整的PASS/FAIL输入检查测试序列脚本，并且不需要对仪器重新编程即可通过2602A的面板运行该脚本。

另外一种面向生产的情形看起来稍微有些不同。在生产过程中，可能有机械手将各个LED传送到测试夹具上，在那里进行电气接触。夹具对环境光线进行了屏蔽，并且内置光电探测器进行光测量。在这个配置中，2602A型双通道数字源表可以实现两种连接功能。源测量单元A（SMUA）用于向LED提供测试信号并测量其电响应参数，而SMUB可用于在光测量过程中监测光电二极管。

在编制测试序列时，可以采用元件机械手的一条数字线作为“测试开始”（SOT）信号。当数字源表检测到该SOT信号后，对LED进行特征分析的测试就开始了。

在完成所有的电气和光学测试之后，可以将一条标志着“测量完成”的数字线置位，传给元件机械手。此外，2602A本身的智能特点可以实现所有的pass/fail操作，通过2602A上的数字I/O端口向元件机械手发送数字命令，根据pass/fail判断结果对LED进行分拣。然后，通常会同时发生两个操作：数据传输给PC进行统计过程控制（SPC）以及向测试夹具中机械放置一个新的DUT。

面向多器件/阵列的LED测试系统

除了单器件测试，还存在多个器件测试的情形，例如涉及老化工艺的测试。在这些测试中，要在一段特定的时间内对多个部件进行测量。通常采用一个连续的电流驱动DUT，但是多个光检波器可以采用多路复用的方式通过开关系统连接一个电流表。开关系统与电表的正确选择取决于所关心电流的动态范围。

吉时利提供了多种适合测试多个LED的开关选件。主机范围从双槽的7001（最高支持80个开关通道）到十槽的7002主机（最高支持400个通道）。另外一个选件是7002-HD，它最高支持320个通道，是世界上密度最高的开关主机之一。对于低电流测量，吉时利提供了6485型皮可安培计和6487型皮可安培计/电压源。一个2602A型数字源表还可用于测量电流。

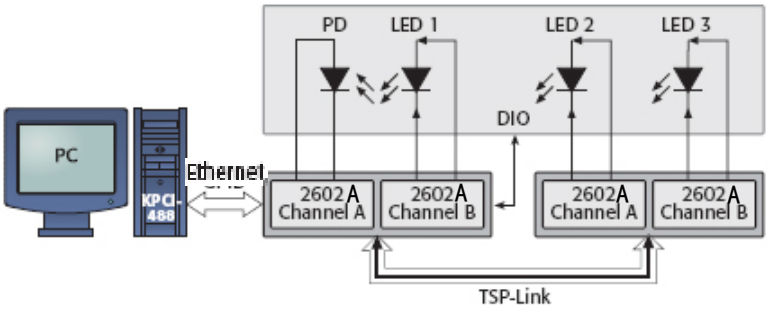

图3. 基于可扩展2602A型数字源表的LED阵列测试系统的模块图

对于少量的LED测试，可以采用多个2600A系列数字源表。图3给出了采用一个PD通道的三LED器件测试系统结构。

测试序列脚本代码

下列代码片段给出了利用2602A对一个LED进行三项电气测试的测试序列脚本。这些测试步骤的目标是作为构建更专门应用的构建块。

在测试列表之后的第一部分是一次性配置程序，提供了明确的仪器启动条件。然后，SMU通道的输出被激活，测试过程依次进行。测量数据保存在“Reading”变量中，在程序清单的末尾通过“print”命令发送给PC。

注意：双连字符（--）表示注释行。

首先，通过发送下列函数对测试仪进行缺省设置：

要执行该测试序列，我们需要另外一个函数设置各个测试并执行正确的操作：

```
-- Example LED Test Sequence
-- 1.) Forward Voltage Test VF at   10 mA
-- 2.) Leakage Current Test IL at  -10  V
-- 3.) Reverse Breakdown Voltage Test VR at -5E-6 A

function ResetLED()
-- One Time Reset & Setup
 Reading = {} --Create table for readings
 smua.reset() --reset SMU
 smua.measure.nplc = 0.01 --Set measurement aperture
 smua.measure.autozero = smua.AUTOZERO_OFF --Disable autozero
 smua.sense = smua.SENSE_REMOTE --Enable 4-wire measurement
 --GlobalVar = 1
end--function ResetLED()



function LEDTest()
--configure LED Test Sequence.
--Performs VF, IL, and VR tests

     smua.source.levelv = 0 --Set source value
     smua.source.output = smua.OUTPUT_ON --Enable source

     --1.) Forward Voltage Test VF at 10 mA
     smua.measure.rangev = 6 --Set measurement range
     smua.source.limiti = 0.001 --Set source current compliance
     smua.source.rangei = 0.1 --Set source range
     smua.source.leveli = 0.01 --Set source level
     --Select output function
     smua.source.func = smua.OUTPUT_DCAMPS
     smua.source.limitv = 6 --Set source voltage compliance
     --delay (0.001) --Delay
     Reading[1] = smua.measure.v() --Perform Vf measurement

     --2.) Leakage Current Test IL at  -10  V
     --Select current measurement range
     smua.measure.rangei = 1E-5smua.source.rangev = 40 --Select voltage source range
     smua.source.levelv = -10 --Select voltage source value
     --Set source function
     smua.source.func = smua.OUTPUT_DCVOLTS smua.source.limiti = 0.1 --Set source current compliance
     --delay (0.005) --Delay
     Reading[2] = smua.measure.i() --Perform IL measurement

     --3.) Reverse Breakdown Voltage Test VR at -5E-6 A
     smua.measure.rangev = 40 --Set voltage measurement range
     smua.source.rangei = 1E-5 --Set current source range
     smua.source.leveli = -5E-6 --Set current source level
     smua.source.limitv = 40 --Set source voltage copliance
     smua.source.func = smua.OUTPUT_DCAMPS --Set source function
     delay (0.005) --Delay
     Reading[3] = smua.measure.v() --Perform VR measurement

     smua.source.leveli = 0 --Set source level
     smua.source.output = smua.OUTPUT_OFF --Disable output

end--function LEDTest()
```

最后，我们要将数据返回给计算机：

```
function ReturnData()

-- Data Printing
    print ("")
    print ("Measurement reading at  10 mA:".. Reading[1].." V")
    print ("Measurement reading at -10  V:".. Reading[2].." A")
    print ("Measurement reading at  -5 uA:".. Reading[3].." V")

end --function ReturnData()
```

现在，这些函数可以由外部程序调用了，例如Visual Basic®或者LabVIEW™，调用时只需发送函数名字符串即可。

这里给出了一个采用VB6和Ethernet的系统实例：

注意：单引号（‘）表示Visual Basic®6中的注释。

```
Call Send(KeithleyMeter, "ResetLED()", status) 'Calls ResetLED()

Call Send(KeithleyMeter, "LEDTest()", status) 'Calls LEDTest()

'Calls ReturnData()
Call Send(KeithleyMeter, "ReturnData()", status)
```

我们需要给我们的外部程序输入数据：

```
    For I = 1,4
--There are 4 print statements.. so we need 4 enters
Call enter(Data, 1000, Length, KeithleyMeter, status)     ' Get info back from meter
Data = Data & Data 'Concatenate data string
    Loop
```

这里将返回输出缓冲队列中保存的字符，返回顺序就是它们被写入的顺序。这个例子返回的数据是ASCII码。这种返回数据的方法并不是最快的，但是是最容易上手的方法。用户可以参考软件程序和仪器手册，查找更有利的数据传输技术，例如二进制数据传输和缓冲式数据存储。

追求速度的编程测试：TSP

对于存在很多仪器的情况，由PC机控制测试的各个方面。在测试序列的每个组件中，必须针对每个测试对仪器进行配置，执行所需的操作，然后将数据返回给控制PC（如图4所示）。然后控制PC进行pass/fail判断并执行相应的操作，分拣DUT。每条发送和执行的命令都会花费宝贵的生产时间，降低产能。

显然，测试序列花费的时间有很大一部分是用于与PC之间的信息通信。2600A系列仪器具有一种独特的功能，通过减少通信总线上的通信流量，能够大大提高复杂测试序列的测试产能。在这些仪器中，测试序列的主体部分嵌入在仪器中。测试脚本处理器（TSP）是一个全能的测试序列引擎，能够根据内置的pass/fail判据、数学公式、计算和对数字I/O的控制，控制测试序列（参见如图5所示的基于2602A的测试序列）。TSP可以将用户自定义的测试序列保存在存储器中并通过命令执行它。这种方式限制了测试序列中每一步的设置与配置时间，通过减少仪器与PC之间的通信量提高了测试产能。

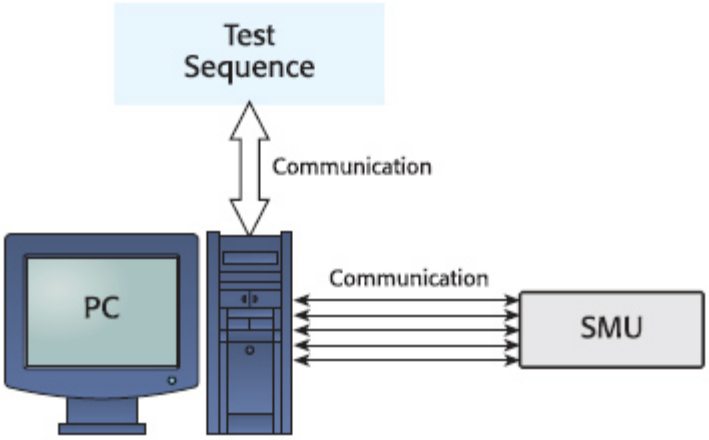

图4. 标准仪器的PC控制

下面是对2602A进行编程的简化分步过程：

1）创建脚本

2）将脚本下载到仪器中

3）调应脚本执行

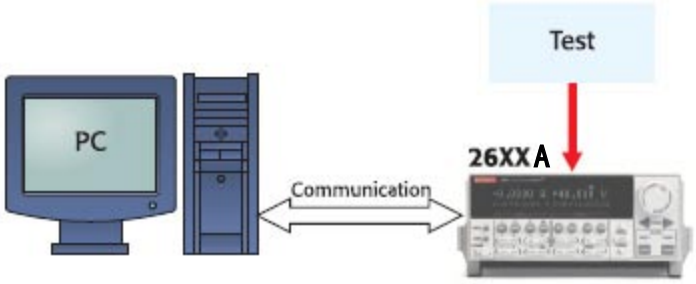

图5. 采用2602A中的嵌入式测试脚本处理器（TSP）存储测试序列。注意减少了通信量。

用户可以在仪器随机提供的Test Script Builder软件中编写2602A的脚本，或者利用其它程序下载到仪器中，例如Visual Basic或者LabVIEW。有关2602A编程的详细方法可查阅2602A用户手册的第2章。

常见误差源

结自热

随着测试时间的增加，LED的半导体结往往会发热。对结发热最敏感的两种测试是正向电压测试和漏电流测试。当结发热时，电压会下降，更重要的是，在稳压测试过程中漏电流会增大。因此，在不降低测量精度或稳定性的情况下尽量缩短测试时间是很重要的。

260xA系列数字源表可以在测量之前配置器件的浸透时间（soak time）以及获取输入信号的时间。浸透时间使得电路电容能够在测量开始前稳定下来。测量积分时间取决于电源线性周期数（NPLC）。如果输入电源频率为60Hz，那么1NPLC测量将需要1/60秒，即16.667ms。积分时间决定了模-数转换器（ADC）获取输入信号的时间，它体现了速度和精度二者之间的折衷。

V_F测试的典型浸透时间从1毫秒到5毫秒不等，I_L测试为5毫秒到20毫秒。利用这些较短的测试时间，可以减少由于结发热导致的误差。此外，通过进行一系列测试并只改变测试时间可以确定结发热的特性。

引线电阻

常见的一种电压测量误差源是从仪器到LED连接的测试引线带来的串联电阻。当采用2线连接方式时（如图6和图8所示），这种串联电阻就会增加到测量结果中。当连接线较长并且采用高电流时，引线电阻的影响就特别有害，因为引线电阻上产生的电压降相比所测的电压就很大了。

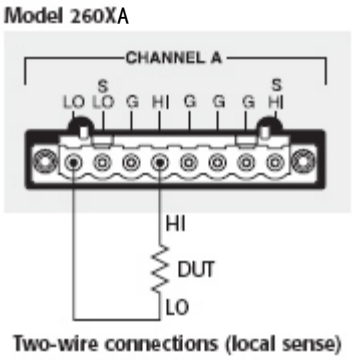

图6. 与260xA数字源表通道的双线连接

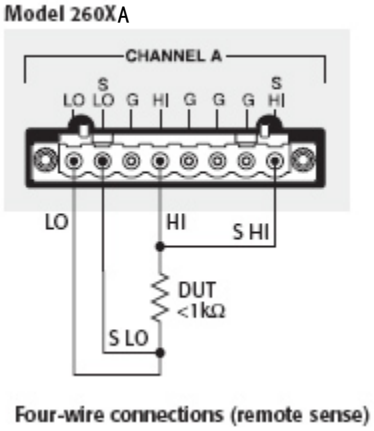

图7. 与260xA数字源表通道的四线连接

图8描述了将引线电阻作为“集总”元件的情形。灰色的圆角矩形框标出了电流流向，它基本上不受高阻抗电压表的影响。

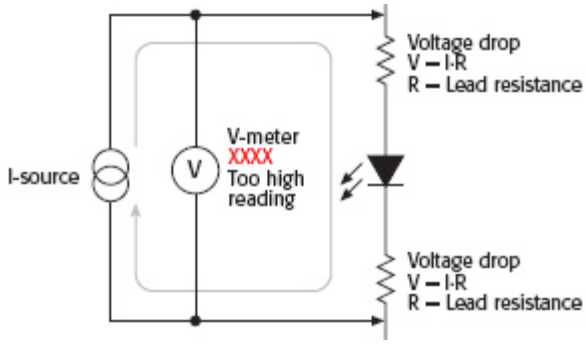

图8. 与LED的双线连接

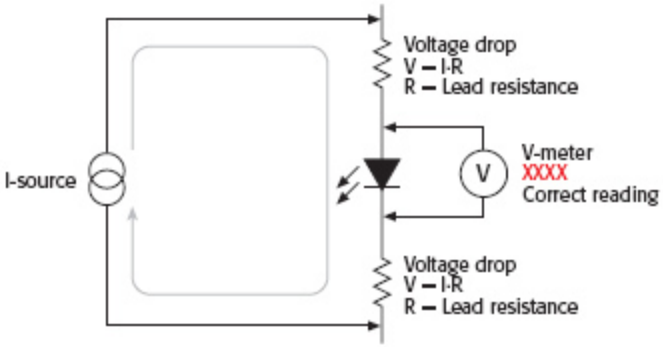

图9. 与LED的四线连接

要解决这个问题，最好采用四线远程检测方法而不是双线连接方法。采用四线连接方法（如图7和9所示），电流经由Output HI/LO测试引线流过LED，我们利用Sense HI/LO引线测量LED上的电压。这样，测得的就只是LED上的电压降了。

漏电流

在测量极低的电流时，例如漏电流，线缆和夹具中的杂散漏流也是一种误差源。为尽量减少这种问题的影响，应该采用高电阻材料制作测试夹具。另外一种减少漏电流的方法是采用数字源表内置的保护电路。这种保护电路是电路中的一个低阻抗点，它与待保护的高阻抗点几乎具有相同的电位。

图10中的例子很好地说明了这一原理。在这个例子中，待测的LED安装在两个绝缘支架上。这个电路中使用的保护电路能够确保所有的电流都流过二极管，不会流过支架。一般而言，当提供的电流源或测量的电流小于1μA时都应该采取保护措施。将仪器的Guard端与金属板相连可以保护这种电路。这样就使得DUT绝缘支架的底部与顶部几乎具有相同的电位。由于绝缘体的两端几乎具有相同的电位，因此其中没有明显的电流流过其中。所有的电流都像我们希望的那样流过LED。

警告：Guard端与Output HI端具有相同的电位。因此，如果Output HI存在危险电压，那么Guard端上也存在这一危险电压。

静电干扰

当把一个带电的物体靠近另一个不带电的物体时，高电阻测量容易受到静电干扰的影响。要想减少静电场的影响，可以采用一个屏蔽罩将待测电路包围起来。如图10B所示，一个接地的金属屏蔽罩围绕着待测LED。数字源表的Output LO端必须与金属屏蔽罩相连，以防止由于共模干扰和其它干扰造成的噪声。采用这类屏蔽罩还有助于防止操作人员接触支架金属板，因为金属板也处在保护电位上。

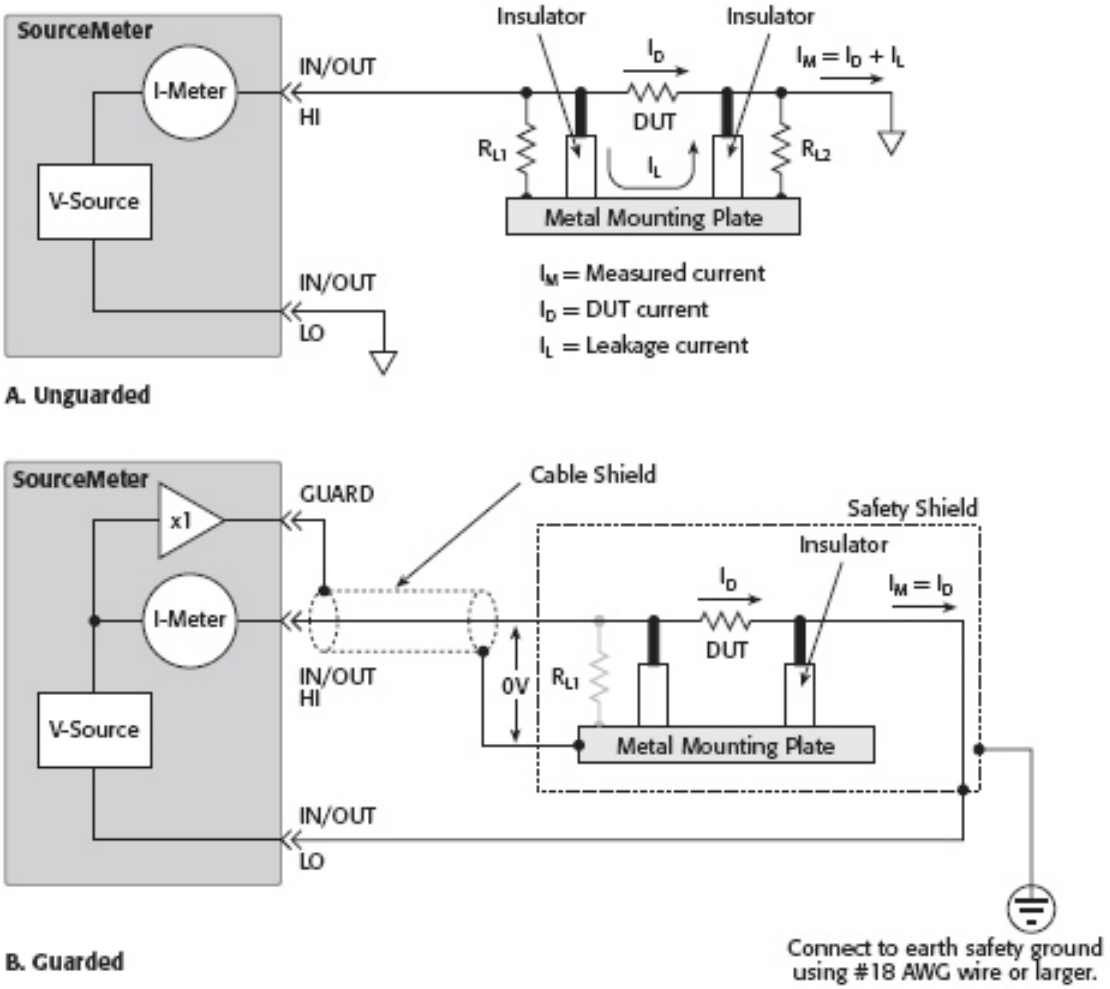

图10. 不带保护与带保护的测量对比

ÿ

光干扰

LED的测试需要检测LED发光的大小和强度，因此应该使测试夹具避光。一般地，我们可以将测试夹具的内部喷成黑色，以减少夹具内部的光线反射。

设备列表

配置图2中的系统需要下列设备：

- 2602A型数字源表。
- Ethernet连接线与PC相连
- 带校准光电探测器的避光外壳。
- 用于连接数字源表25针公D型接头与元件机械手的定制数字I/O线。
- 用于连接测试设备与DUT和光电探测器的定制线束。

测试系统的安全性

很多电子测试系统或仪器能够测量或提供危险的电压或功率。此外，在单故障条件下（例如编程错误或者仪器失效），即使系统显示不存在危险也可能会输出危险电平。

对于这些高电压和高功率，很有必要始终保护操作人员避免这些危险。

保护方法包括：

- 设计测试夹具防止操作人员接触任何危险电路。
- 确保待测器件完全密封以保护操作人员免遭飞出碎片的伤害。例如，电容和半导体器件在电压过高的情况下会发生爆炸。
- 对操作人员可能接触到的所有电气连接进行双层绝缘。双层绝缘能够确保即使一层绝缘失效仍然能够保护操作人员。
- 当测试夹具外壳打开时，采用高可靠、失效保护式互锁开关断开电源。

KEITHLEY

美国吉时利仪器公司

全国免费电话：400-650-1334 / 800-810-1334

邮箱：china@keithley.com

网址：www.keithley.com.cn