

## 99%的工程师都知道的万用表使用陷阱

Copyright © 2019 Siglent Technologies, All Rights Reserved

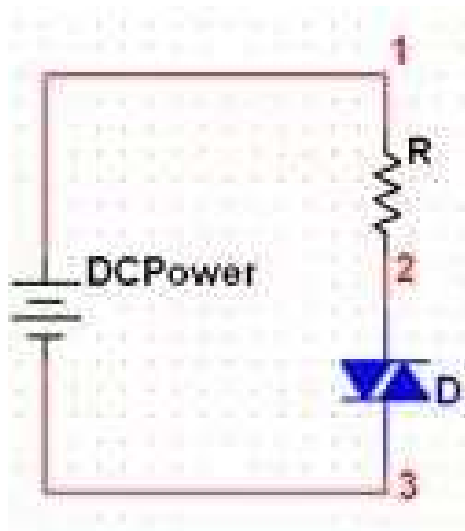
访问 [www.siglent.com](http://www.siglent.com) 获得更多鼎阳仪器信息

联系鼎阳: [market@siglent.com](mailto:market@siglent.com) 或 拨打免费电话 400-878-0807

作为基础测试仪器，“万用表”当然是用途比较多，测量电压、电流、电阻、二极管、三极管、电容等等，因此硬件工程师人手一块万用表。但是基础并不意味着简单，稍不注意，还是有可能导致错误的测量。下面给大家分享一个案例。

## 一、测试前的理论分析

某工程师需要验证 ESD 器件的“最大工作电压”参数，按照规格书描述：“在 ESD 器件两端施加 14V 电压时，流过的电流值应  $< 0.1\text{nA}$ ”。因为电流值很小，所以使用万用表或者示波器直接测量，仪器的量程不够。最后使用替代方法：串联大阻值电阻 R，调节稳压电源输出至满足 ESD 器件两端电压为 14V，此时测量 R 两端电压 U，计算得到回路电流  $I=U/R$ ，电路如下：



根据电流规格小于  $0.1\text{nA}$ ，如果串联  $10\text{Mohm}$  电阻，理论上测量到电阻的电压值在  $10\text{mV}$  以下，就可以判断 ESD 器件的最大工作电压参数符合规格书。以上选择串联电阻的阻值是参照万用表电压档位的测量精度，目前测试使用的万用表的直流电压档位规格如下：

功能	量程	分辨率	精确度
			型号 15B
直流毫伏电压 $\overline{\text{mV}}$	400.0 毫伏	0.1 毫伏	1.0 % + 10

精确度以  $\pm([\text{读数百分比}]+[\text{最低有效位个数}])$  来标注，直流毫伏档位精度“1%+10”含义是：如果实际电路中的电压是  $10\text{mV}$ ，则测量误差是  $\pm(10*1\%+10*0.1)=\pm 1.1\text{mV}$ ，这个精度勉强可以接受。

## 二、测试的过程和结论

按照以上电路搭建测试环境，先调整直流稳压电源的输出电压，与此同时使用万用表跟踪测量 ESD 器件两端电压，当示数为  $14\text{V}$  时停止调节，以此确定器件工作电压为  $14\text{V}$ 。然后测量此时电阻 R 两端的

电压  $U=0.266V$ ，通过计算  $I=U/R$  得到回路电流：

$$I=U/R=0.266/10^7 = 26.6nA$$

显然测试结果不符合规格书中  $< 0.1nA$  的要求，因此结论为：**这个器件有质量问题。**

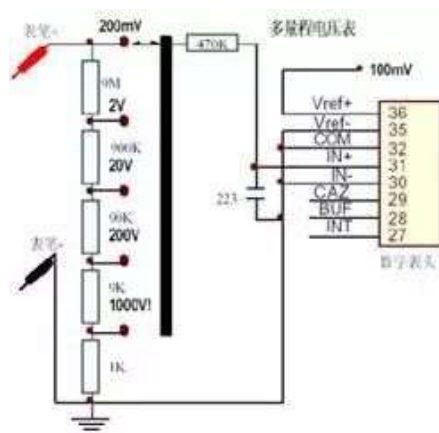
### 三、测试后的排查发现矛盾

观察到此时稳压电源的输出电压显示为  $28V$ ，而计算 ESD 器件和电阻的电压之和仅为  $14+0.266=14.266V$ ，那么问题来了：**在这个串联电路中，剩下的  $13.734V$  压降去哪里了？**

### 四、万用表的电路结构及期对待测电路的影响分析

使用万用表测量电压时，表的输入电阻是和被测电路是并联的，这会降低被测电路的阻抗，所以测试得到的电压值比没有并联万用表时的实际电压值更小。当万用表内阻远大于被测电路阻抗时，这个误差几乎可以忽略，而如果两者接近，测试结果误差将会很明显。

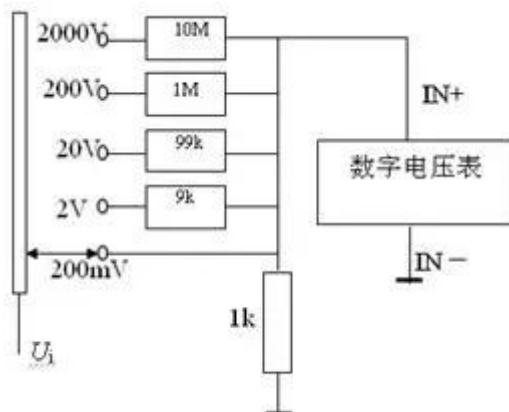
如下是一款万用表芯片的电压档电路图，因为表头的量程仅仅是  $200mV$ ，并不能满足大部分测量情况，所以使用从  $1Kohm$  到  $9Mohm$  的电阻组成了分压网络，用于拓宽万用表的量程，从  $200mV$  到  $1000V$  形成 5 个档位。



举个例子，如果测量  $15V$  电压，应该选择  $20V$  档位，此时分压电阻为  $9+0.9=9.9Mohm$  和  $90+9+1=100Kohm=0.1Mohm$ ，所以分压比是  $100:1$ ，经过分压网络最终到达表头的电压是  $150mV$ 。

对于这款芯片的外围电路，不论电压表选择哪个档位，万用表接入电路的电阻始终为  $10Mohm$ ，所以档位选择并不影响到表的阻抗，例如当前使用的万用表的规格书注明“所有电压档位阻抗均为  $10Mohm$ ”。

但也要注意并不是所有的万用表都是这样的设计，例如下面的另外一种电路结构：



注意到下端分压电阻为 1Kohm 不变，当改变电压档位的时候，上端分压电阻从 9Kohm 到 10Mohm 不等，所以对于这种设计的万用表，不同档位的测量误差也不一样：低档位电阻小，误差大；高档位电阻大，误差小。所以从减少对被测电路阻抗影响的角度出发，应该选择更大量程的档位，但选择比测量值大很多的档位，又会降低测量精度，因此需要折中做出选择。

## 五、测试电路参数计算

如果通过 ESD 器件参数电压 14V、电流 1nA 来计算，ESD 的等效电阻已经达到 14Gohm，假设万用表阻抗为 10Mohm，那么两者并联后阻抗几乎等于 10Mohm，和电路中串联的 10Mohm 电阻形成接近 1:1 分压。

至此“13.734V 压降去哪里了”的问题也可以解释了：**在没有接入万用表时，除了串联电阻分压到很小的电压值，稳压电源的 28V 电压几乎都施加在 ESD 器件上，而使用万用表测量 ESD 器件两端电压时，ESD 器件与万用表的阻抗并联，从而改变了原分压电路的参数，“ESD 器件两端电压为 14V”的判断是错误的。**

## 六、如何精确测量

问题回到了如何精确测量回路电流，这需要精确测量电路中的两个参数：

- (1) 确定 ESD 器件的电压为 14V
- (2) 测量电阻 R 的电压，用来计算电流

前者可以通过（电源电压 - 电阻 R 电压）获得，所以最终落到了“如何准确测量电阻 R 的电压”。

对于万用表如何测量大阻值，小电压的情况，应该有两个途径：

- (1) 提高万用表电压档的阻抗。电阻是 10Mohm，假设万用表阻抗是 1Gohm，那么对测试结果的影响几乎可以忽略。

(2)提高万用表电压档的精度。将原 10Mohm 电阻使用多个小阻值电阻替代,例如使用 20 个 0.5Mohm 串联,那么每个电阻的压降在 0.5mV,如果万用表的测量精度足够高到可以精确测量 0.5mV 电压值,就可以通过测量每个小电阻的电压再相加,得到电阻的总压降,这是通过降低源端阻抗来降低对万用表阻抗的要求。

查看目前仪器市场主流的高端万用表产品,其中鼎阳科技的 SDM3065X 型 6 位半台式数字万用表,其 200mV 毫伏档位不但测量精度高,而且阻抗可以在 10Mohm 和 10Gohm 中选择,完全适合当前的测试要求,改善后的测试步骤如下:

- a.将可调直流电源电压 U1 从 14V 开始逐渐调大,同时使用万用表测量电阻两端电压 U2,使两者的电压差(U1-U2)等于 14V,这个电压就是目前 ESD 的电压,记录最终的 U2 值。
- b.断开电源,使用万用表精确测量电阻的阻值,记为 R,最后  $I=U2/R$  得到结果。



## 结语:

万用表是调试和测量中的基础设备,但在使用过程中也要多加注意,本次案例中“万用表的阻抗对待测电路的影响”只是需要注意的问题之一,其他例如:万用表可测试的交流信号频率上限、空间电磁场产生的感应电动势干扰、接触面的热电动势引入测量误差等等,每种情况都需要注意到,特别是在测量小信号的时候,更是可能隐藏着很多陷阱,因此基础并不意味着简单,作为工程师需要时刻保留严谨的态度,注意到每一个细节。

## 关于鼎阳硬件智库

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。

鼎阳硬件智库顺势顺势，倡导“连接-分享-协作-创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。

鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测试测量进行聚焦。寻找“最针尖”的问题进行研讨，针对“最针尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。鼎阳硬件智库的运作载体包括“线上”的微信公众号分享，微信群，网站，网络社区论坛，博客，邮件群等多种互联网工具和“线下”的专家论坛和专家把脉。“线上”的分享坚持原创，坚持干货，保持专注和深耕。“线下”专家论坛邀请硬件相关的一线实战派专家分享“最干货”的硬件设计与测试知识与经验，面对面相互研讨；“线下”的专家把脉，通过大数据连接，促使具体问题和最熟悉这个具体问题的专家“精准匹配”，远程问诊和现场解决问题相结合。

鼎阳硬件智库，群策群力，连接所有硬件人。

有硬件问题，找鼎阳硬件智库。



扫码关注鼎阳硬件智库，为您提供更多硬件干货