



更准确地测量小电阻

—— 万用表的四线制和二线制测量方法比较

高雪琴 深圳市鼎阳科技有限公司

更准确地测量小电阻 —— 万用表的四线制和二线制测量方法比较

高学琴

深圳市鼎阳科技有限公司

电阻是电子元器件中比较常见的一种。电子学上对它的定义是用电阻材料制成的、有一定结构形式、能在电路中起限制电流通过作用的二端子元件。

常见的测量电阻原理是给予一个激励电流源，根据该二端子元件两端点得到的电压衡量该电阻对于电流阻碍作用的大小。基于此原理万用表有两种测量电阻的方法——二线制和四线制。

一、二线制测量原理

所谓二线制，顾名思义，就是只利用两根导线去连接被测电阻，工作原理图如图 1 所示。二线制是在待测电阻两端各连一根导线，这种接法简单、费用低，在实际生活中广泛应用；但是导线本身也具有电阻，而且该电阻会随环境温度的变化而变化，这就会给电阻测量带来不确定的附加误差，即使是在测量大电阻时，引线也不宜过长。并且由于测量回路和电流回路无法分开，表笔和待测点之间的接触电阻也不可避免，引入了误差源。

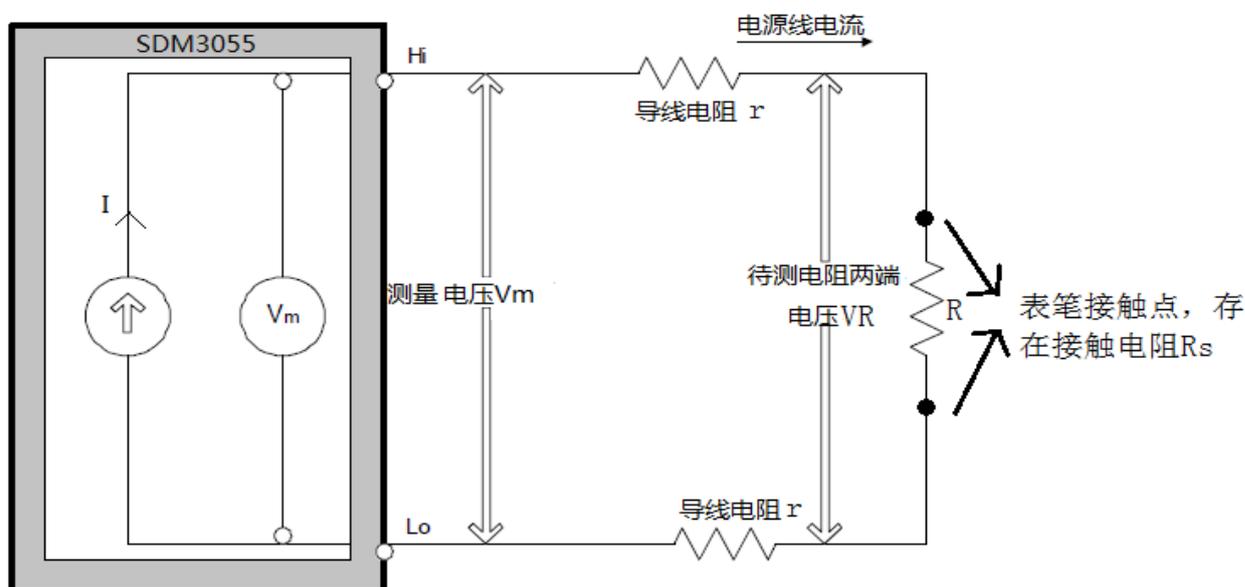


图 1 二线制测量原理

万用表包含有一个精密电流源以及一个内阻很大的电压表。万用表通过测量出来的电压来衡量该电阻阻碍电流大小的能力，但从图中可以看出，二线制测量到的电压结果实际上并不是待测电阻两端的电压，还包括导线产生的传导电阻以及表笔接触带来的接触电阻。其测得的电阻的数学表达式为：

$$R_{测} = R + 2r + 2R_s$$

其中， R 为待测电阻， r 为导线电阻， R_s 为接触电阻。一般的导线传导电阻范围在 $1\text{m}\Omega \sim 100\text{m}\Omega$ ，表笔和待测点的接触电阻也在 $\text{m}\Omega$ 级别，如果待测电阻 R 足够大的话，那么传导电阻、接触电阻几乎可以忽略，但是如果在实际应用中需要测量小电阻 ($<10\Omega$)，待测电阻与导线、接触电阻相差无几，不可避免会引起一些误差。

这个时候需要找到一种办法减少这些导线电阻、接触电阻对测量电路带来的影响，于是引入了四线制测量电阻。

二、二、四线制测量原理

四线制在电阻的两端各连接两根导线，其中两根引线为电阻提供恒定电流 I ，把电阻 R 转换成电压信号 U ，另外两根信号引线则把电压信号 U 引至仪表，其测量原理如图 2 所示。这种接法几乎可以消除导线电阻和接触电阻的影响，但成本较高，测量接线繁琐些，主要用于高精度的电阻测量。

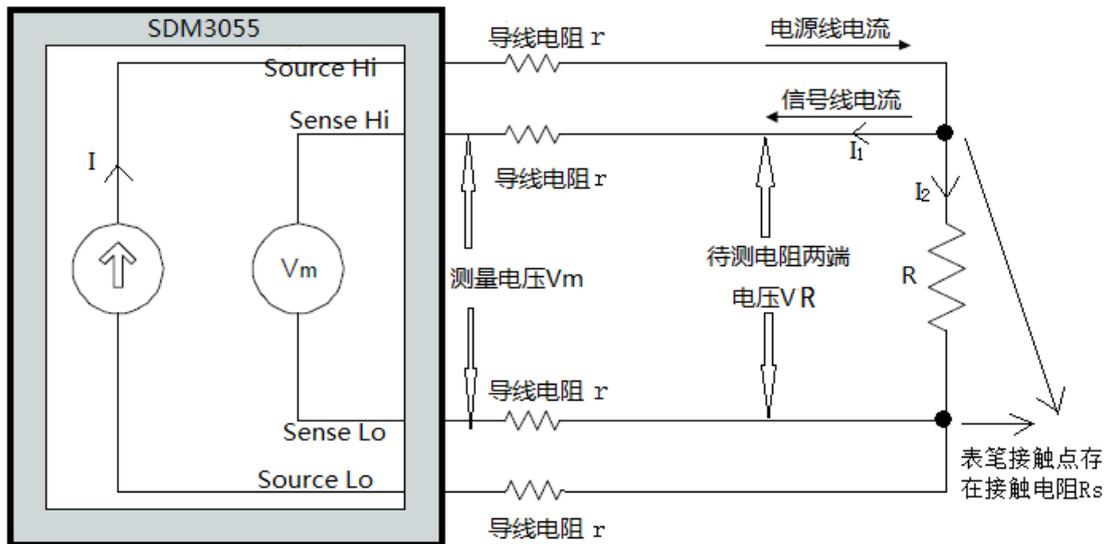


图 2 四线制测量原理

由于 SDM3055 万用表内部集成了运放，所以测量电压表 V_m 的内阻可以做得很大，与待测电阻存在数量级的差别。精密电流源产生的电流只有很微小的一少部分流经测量电压表所在的回路，如此在导线电阻和接触电阻上产生的压降我们几乎可以忽略，于是得到的测量电压几乎就趋近于待测电阻两端的电压，相比于二线制来说更加准确。

三、三、二线制和四线制测量实例比较

使用鼎阳科技 SDM3055 数字万用表对标称值为 $100\text{K}\Omega$ 、 $1\text{K}\Omega$ 、 100Ω 、 10Ω 、 1Ω 、 0.1Ω 的电阻进行测量，比较二线制和四线制测量不同电阻的结果差异。（因为标称阻值并不准确，这里我们利用更高精度的万用表来对标称值进行测量作为标准值）

图 3 和图 4 分别为利用二线制和四线制测量标称值为 0.1Ω ，标准值为 0.1432Ω 电阻的显示结果：



图 3 基于鼎阳科技台式万用表 SDM3055 二线制测量结果



图 4 基于鼎阳科技台式万用表 SDM3055 四线制测量结果

测量项	100K Ω	1K Ω	100 Ω	10 Ω	1 Ω	0.1 Ω
标准值	100.0152 K	0.983000 K	99.6712 Ω	9.8375 Ω	0.9943 Ω	0.1432 Ω
2 线法测量 值 (相对误差)	100.018K (0.0028 30%)	0.98339K (0.0396 7%)	99.720 Ω (0.0489 6%)	9.879 Ω (0.4216 %)	1.053 Ω (5.904%)	0.195 Ω (36.17%)
4 线法测量 值 (相对误差)	100.015K (0.00019 97%)	0.98315K (0.0152 6%)	99.675 Ω (0.0038 13%)	9.830 Ω (0.0762 4%)	1.002 Ω (0.7744 %)	0.139 Ω (2.933%)

表 1 测量结果统计

结论: 对表格中数据纵向比较我们可以发现，二线制的测量结果始终比四线制得到的结果大；横向比较发现，电阻越小，其相对误差基本呈递增趋势；同时综合分析发现，在测量大电阻时，二线制和四线制测量

误差基本相差无几，但对于小电阻来说，四线制测量结果更加准确。

四、四、二线制和四线制的共同点

两种接法都用到了精密电流源和内部的电压测量表，它们共同的误差都有可能来自于电流源本身，并且受制于电压测量表的测量精度。

数字万用表是将电压测量表中测到的电压 U ，送入 ADC 进行量化、计算、分析最后才送入显示屏显示，所以无论是二线制还是四线制，都不可避免存在着一定的量化误差

【关于鼎阳】

鼎阳科技（SIGLENT）是一家专注于通用电子测试测量仪器及相关解决方案的公司。

从 2005 推出第一款数字示波器产品至今，10 年来鼎阳科技一直是全球发展速度最快的数字示波器制造商。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、台式万用表、直流电源等通用测试测量仪器产品。2007 年，鼎阳与高端示波器领导者美国力科建立了全球战略合作伙伴关系。2011 年，鼎阳发展成为中国销量领先的数字示波器制造商。2014 年，鼎阳发布了中国首款智能示波器 SDS3000 系列，引领“人手一台”型实验室使用示波器由功能示波器向智能示波器过渡的趋势。目前，鼎阳已经在美国克利夫兰和德国汉堡成立分公司，产品远销全球 70 多个国家，SIGLENT 正逐步成为全球知名的测试测量仪器品牌。

【关于鼎阳硬件设计与测试智库】

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。