微小电阻测量解决方案

使用 OE8101 数字源表进行 10 mΩ 级低电阻测量



为什么使用源表进行低电阻测量

传统低电阻测试通常需要精密电流源、数字电压表以及同步触发和数据采集系统。由数台仪器组成的系统需要分别进行编程、同步、连接、测量和分析，还要处理量程匹配、触发时序、通信同步及总线传输效率等问题，增加了仪器采购、接线和系统集成的复杂度。

源测量单元（SMU）将精密源输出功能与高精度电压、电流测量功能集成于同一台仪器内。OE8101 可独立完成器件测试过程中所需的激励、测量、保护和数据记录等功能，从而减少多台测试仪表之间复杂的编程配置、同步控制、接线连接及总线数据传输。

测量 10 mΩ 电阻，本质上是在 1 A 激励下测量约 10 mV 的压降。测试线、接插件和夹具的电阻可能比 DUT 本身更大，不同金属接点存在温差时还会形成微伏级热电势。OE8101 具备四象限输出和四线远端感测能力，电压测量的最小分辨率可达 8 nV，为本文的逐步排查和改进提供了单机测试基础。

10 mΩ 低电阻的递进测量

测试样品与条件

项目	本次测试设置
DUT	10 mΩ 四端标准电阻，标称值为 10 mΩ ± 1%
接线	前面板端子；Force 与 Sense 测试线
激励	电流源 ±1.000 A；电压限制 21 mV / 2 V
采样	预热 1 h；间隔 1s，7 点舍弃前面 2 个点后求平均

数据说明：本文数据为所述仪器、样品和条件下的测量示例，不作为产品保证指标；适用规格及条件见对应版本技术资料。

二线法测量

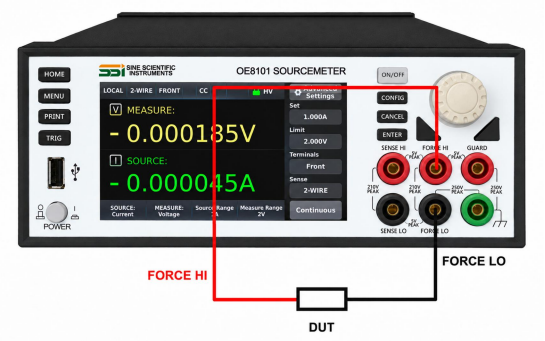


图 1 二线法前面板接线

首先采用常规二线法。此时同一对测试线既施加电流又测量电压，接线简单，适合先建立常规测量结果。

设置：在 HOME 主界面选择 Source 为 Current，选择 Measure 为 Voltage，将 Set 设为 1 A、Limit 设为 2 V、Terminals 设为 Front，点击 Sense 并选择 2-WIRE；Source Range 设为 1 A、Measure Range 设为 2 V，选择 Continuous。输出稳定 1 s 后记录电流回读和电压。



图 2 二线测量数据示例界面

序号	电流	电压	电阻
1	0.9998 A	686.17 mV	686.31 mΩ
2	0.9998 A	685.88 mV	686.02 mΩ
3	0.9998 A	686.21 mV	686.35 mΩ
4	0.9998 A	685.57 mV	685.71 mΩ
5	0.9998 A	686.03 mV	686.17 mΩ

平均值：686.11 mΩ

结果明显高于 10.000 mΩ 参考值。OE8101 在二线模式下测得的是 FORCE HI 与 FORCE LO 之间的回路电压，因此读数不仅包含 DUT 压降，也包含高、低端测试线、端子和接触面的压降。对于大电阻 DUT，这些附加电阻可能可以忽略；但对于 10 mΩ DUT，它们可能主导结果。

$$R_{2W} = R_{DUT} + R_{LEAD,HI} + R_{CONTACT,HI} + R_{LEAD,LO} + R_{CONTACT,LO}$$

R_{2W} 为二线测得电阻，R_{DUT} 为 DUT 电阻，其余各项为 HI、LO 两侧的导线与接触电阻。二线结果还会受到接触位置与夹持压力变化的影响。本实验约 676 mΩ的额外电阻来自测试路径。

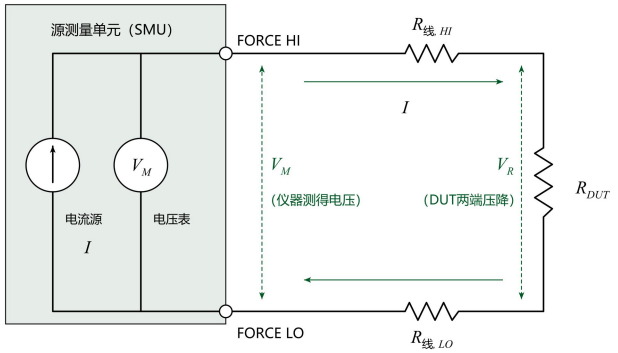
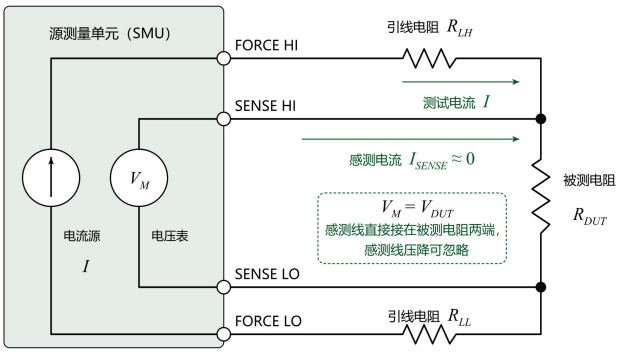


图 3 二线测量原理：电压读数覆盖整个载流回路

二线法的困境并不是仪器无法分辨毫伏信号，而是电压测量边界包含了两根载流线及其接触点。测试电流 I 流过 DUT 的同时，也流过高、低端引线电阻，因此仪器读到的 V_M 等于 DUT 压降与全部附加压降之和。当 DUT 仅为 10 mΩ 时，即使每侧只有几十毫欧的线缆与接触电阻，也足以使计算结果远高于 DUT 真实值。

四线 Kelvin 法测量

四线法使用 FORCE HI/LO 向 DUT 施加电流，使用 SENSE HI/LO 直接测量 DUT 两端电压。由于 Sense 输入阻抗大于 10 GΩ，Sense 线中电流极小，其线阻压降通常可以忽略；取样点应尽可能靠近标准电阻规定的电压端。



$$R \approx V_M / I$$

图 4 四线 Kelvin 原理：Force 载流，Sense 只测量 DUT 压降

四线法的解决方式：FORCE 线仍承担 1 A 测试电流，允许其自身存在压降；SENSE 线则直接落在 DUT 规定的取样端。由

于 Sense 输入阻抗很高，取样支路电流 I_{SENSE} 近似为零，Sense 线上的压降也近似为零，因此仪器测得 $V_M \approx V_{DUT}$。再用实际电流回读值计算 $R = V_M / I$，测量边界便从“整条载流回路”收缩到“DUT 两个 Sense 点之间”，从而得到更接近真实值的结果。

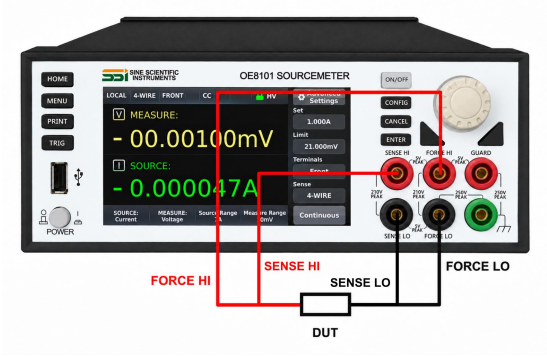


图 5 四线 Kelvin 法前面板接线

设置：在 HOME 主界面将 Set 设为+1 A、Limit 设为 21.000 mV、Terminals 设为 Front；直接点击 Sense 并选择 4-WIRE。Source Range 设为 1 A、Measure Range 设为 20 mV，选择 Continuous；间隔 1 s 采集 7 个读数，舍弃前面 2 个点后求平均。

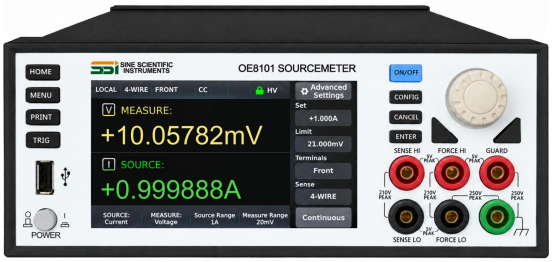


图 6 四线测量数据示例界面

序号	电流	电压	电阻
1	0.9999 A	10.059 mV	10.060 mΩ
2	0.9999 A	10.061 mV	10.062 mΩ
3	0.9999 A	10.058 mV	10.059 mΩ
4	0.9999 A	10.060 mV	10.061 mΩ
5	0.9999 A	10.062 mV	10.063 mΩ

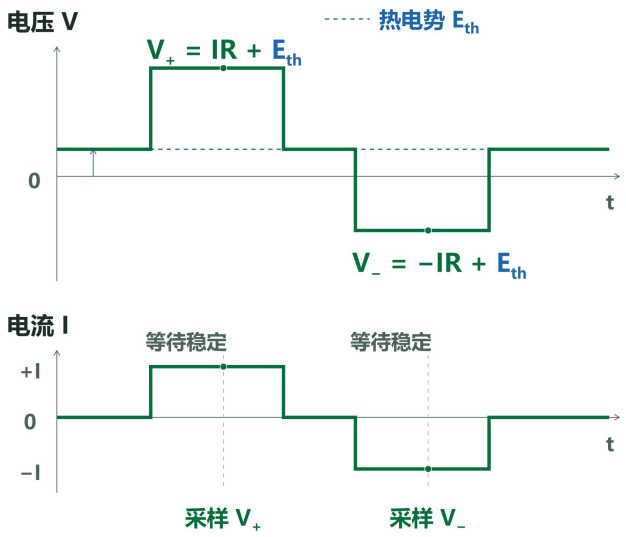
平均值：10.061 mΩ

方式	平均值	结果含义
二线	686.11 mΩ	含 DUT、线缆与接触电阻
四线	10.061 mΩ	主要反映 Sense 点之间的 DUT

按一年测量准确度规格估算的电阻相对误差限贡献，四线结果相对 10.000 mΩ 参考值高约 0.61%，位于本文依据一年规格计算的约 ± 1.1%理论误差范围内。

电流反向法减小电压偏置

四线法可以减小引线电阻的影响，但不能自动消除热电势等附加电压。热电势和源表电压测量通道的直流偏置都可能影响读数。OE8101 支持四象限输出，可在保持接线不变的情况下切换正、反向电流，分别记录对应的电压和电流回读值。当被测电阻及上述偏置在两次采样期间近似不变时，将正、反向电压读数之差除以正、反向电流读数之差，即可抵消稳定电压偏置的影响。



$$R = (V_+ - V_-) / (I_+ - I_-)$$

图 7 电流反向法消除热电势误差示意图

方向	电流回读	电压读数	R 计算结果
正向	+0.9999 A	+10.059 mV	10.060 mΩ
反向	−0.9999 A	−10.023 mV	10.024 mΩ
差值	1.9998 A	20.082 mV	约 10.042 mΩ

操作顺序：0 A → +1 A → 0 A → −1 A → 0 A。每次改变输出后等待相同时间，并使用实际电流回读值计算。OE8101 不提供内置 Offset Compensation 或 Delta Mode，数据需由用户记录并手动计算；10.042 mΩ 为方法示例，不是保证指标。

准确度与结果解释

在 10 mΩ、1 A 和 20 mV 量程条件下，源表按一年准确度规格进行最坏情况线性合成：

来源	一年规格	本示例影响
电压	± (0.020%读数+100 μV)	约 ±102 μV，±1.02%
电流	± (0.040%读数+400 μA)	约 ±800 μA，±0.08%
电阻	电压、电流相对误差限线性合成	约 ±1.10%
温度	23 ± 5 °C	本实验环境为 25℃

上述理论值不包含标准电阻校准不确定度与温度系数，也不包含线缆、夹具、热电势、环境温度梯度、电磁干扰、DUT 自热及接线重复性。

不同类型 DUT 的测试调整

水泥电阻：通常为两端器件且容差较大，Sense 点应固定在靠近本体的同一位置；若为绕线结构，应延长电流切换后的稳定时间。它更适合用于验证测量方法和重复性，不宜仅凭标称值评价绝对准确度。

分流电阻：Force 连接大电流端，Sense 连接制造商规定的 Kelvin 取样端，并考虑安装扭矩、铜排散热、额定温升和材料热电势。10 mΩ 分流器可以沿用本文 1 A 设置，但应按器件额定功率和温升调整通电时间。

总结

OE8101 把电流激励、电压测量、电流回读、保护和数据记录集成于一体。对 10 mΩ 级电阻，常规二线测量能够快速暴露测试路径中的附加电阻；改用四线 Kelvin 连接后，测量边界被限定在 Sense 取样点之间；在此基础上使用正反向差值，还可减小稳定热电势造成的低电平偏置。本文实验示例的二线平均值为 686.11 mΩ、四线平均值为 10.061 mΩ，差值结果约 10.042 mΩ，展示了三步改进各自解决的问题。

因此，在稳定环境、合理量程、规范 Kelvin 取样和一致等待时间下，OE8101 可用于 10 mΩ 级低电阻的精密测量。最终不确定度仍应结合具体 DUT、线缆、夹具、温度与校准条件评估。

对于希望以单台仪器完成低电阻测量的研发与验证场景，OE8101 值得作为测试平台选用。恒流激励与电压测量集成于一体，可减少独立电流源、电压表之间的接线和协调操作；配合实际电流回读，计算电阻时无需仅依赖源电流设定值。四线远端感测将电压取样位置落实到 DUT 规定端点，使仪器的测量能力能够更有效地用于毫欧级信号。

OE8101 的四象限输出还允许在保持接线不变的情况下切换正、负电流，便于用户记录两种极性的读数并计算差值。前面板触屏可完成源、表、量程及 Sense 方式设置，适合从手动验证开始建立测试方法。凭借电流激励、电压测量、四线取样与四象限输出的一体化设计，OE8101 可简化测试系统的搭建与操作，为毫欧级电阻测量提供紧凑、便捷的单机解决方案。

赛恩科仪（中国）

官方网站
www.ssi-instrument.com

技术支持
support@ssi-instrument.com

联系电话
020-84133345

销售咨询
sales@ssi-instrument.com

公司地址
广州市海珠区财智大厦 29 楼

公司邮箱
info@ssi-instrument.com