

KEITHLEY

如何实现精确的弱电流 和高电阻测量

前言 [2](#)；弱电流测量 [2](#)；测量电路 [2](#)；漏电流和防护 [3](#)；噪声和源电阻 [3](#)；零点漂移 [4](#)；电流发生 [4](#)；过载保护 [6](#)；AC干扰和衰减 [6](#)；如何用电量计来测量弱电流 [7](#)；大电阻测量 [8](#)；恒电压方法 [8](#)；恒电流方法 [8](#)；屏蔽 [9](#)；稳定时间 [10](#)；弱电流应用 [11](#)；高电阻应用 [12](#)；选用指南 [13](#)；名词解释 [14](#)

弱电流测量

前言

金属材料、低温超导体、纳米材料、高掺杂半导体、光电二极管暗电流和加速器装置电子束流等特性测量应用都离不开对纳安级甚至更低电流的测量。其中产生的电流很低，或者材料承受的功率很低，如单原子层石墨烯，故测量必须在弱电流下工作，以最大限度降低功率耗散和由于自加热而导致的破坏。类似的是，对绝缘体、聚合物、陶瓷和轻掺杂半导体的测量，也需要仪器具备对极弱电流的测量能力。

对弱电流和高电阻的测量，要求仪器必须具备特殊的功能，并且采用出色的测量技术。用于实现这些高阻抗测量的仪器包括：静电计、皮安计和信号源-测量-单元 (SMU)。这些类型的仪器，若与良好的测量实践相结合，将有助于确保精确的和可重复的低水平电流的测量。本e手册对用于弱电流和高电阻测量的仪器和技术进行了综述。

测量电路

图1示出了用于电流测量的正确电路。请确保测量仪器处在电路中的低电压点上。这将保证仪器不容易受到仪器两端出现的过高电压的损伤。此外，当仪器的位置接近电路共地端时，噪声电压也更低。于是可以获得更好的测量效果。

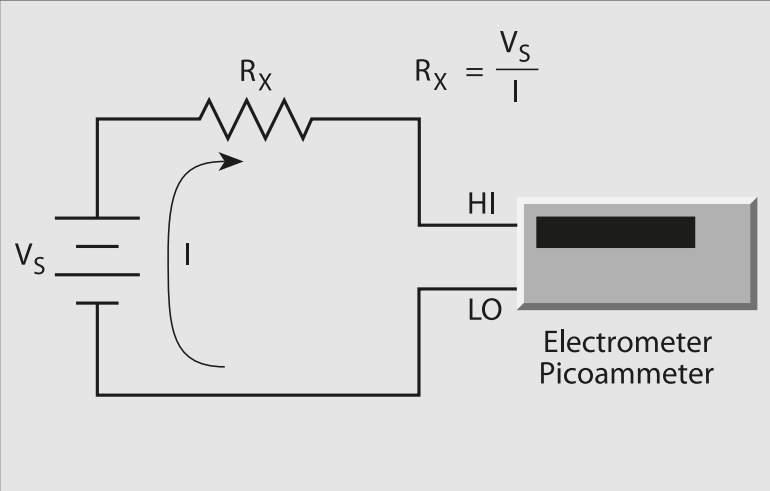


图1: 使用外部电压源的高电阻测量。

一个电流计可以由一个理想的、内部电阻为零的电流计以及与之串联的电阻 (R_M) 来表示，如图2所示的那样。若一个电流源的Thevenin等效电路可以表示为电压源 (V_S) 与一个源电阻相串联 (R_S)，则当该电流源与电流计的输入端连接时，电流将低于与理想电流计 (R_M = 0Ω) 连接时的量值。这一下降是内电阻 (R_M) 所造成的，相应会产生附加的电压降，被称为电压负荷 (voltage burden, V_B)

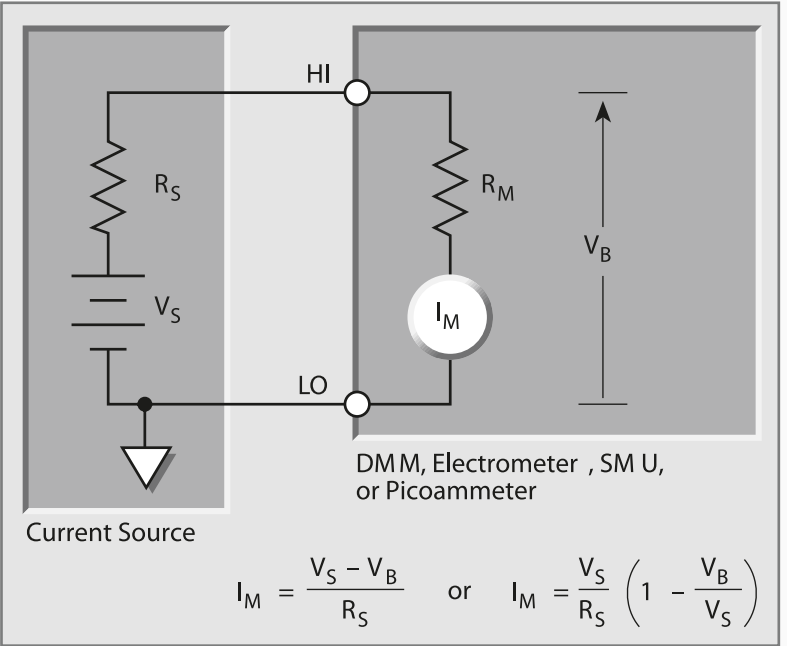


图2: 电压负荷对电流测量精度的影响

最大限度减小电压负荷可以确保最高的测量精度。皮安计、SMU和静电计都采用了如图3所示的反馈式电流计电路技术。该电路结构可以最大限度降低电压负荷，一般缩减至仅仅几百微伏。相比之下，采用了旁路电阻技术来测量电流的DMM，其电压负荷却可以高达十分之几伏特。

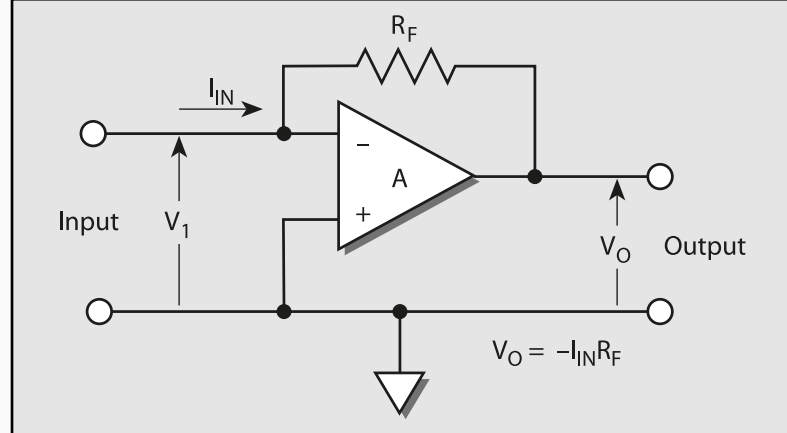


图3: 反馈式电流计电路

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多?

特色资源



- 如何优化弱电流测量和仪器
- 用于弱电流/高电阻测量的高精度静电计

特色资源

- 弱电流测量
- 高电阻测量

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流测量（续）

许多误差源都会严重影响弱电流测量精度。例如，电流计的连接如果不恰当，就会造成测量误差。安培计的电压负荷和输入失调电流也会影响到测量精度。待测器件的源电阻将影响到反馈式电流计的噪声性能。外部的误差源包括电缆和夹具的漏电流以及摩擦生电或压电效应所产生的电流。

漏电流和防护

漏电流是由测量电路和附近的电压源之间的杂散电阻通路所产生的。这些电流可以在很大程度上降低弱电流的测量精度。为了降低漏电流，可以使用高品质的绝缘体、降低测试环境中的湿度和使用防护措施。防护还可以降低测量电路中旁路电容的影响。

在搭建测试电路时使用高品质的绝缘体是一种降低漏电流的方法。Teflon、聚乙烯和蓝宝石是高品质绝缘体的例子，不过，应避免酚醛塑料和尼龙等材料。

湿度也会给弱电流测量带来不利影响。不同类型的绝缘体从空气中吸收的水量也各不相同，因此最好选用一种水蒸汽无法方便地形成连续膜的绝缘材料。有时，如果待测的材料会轻松地吸收水分的话，这是不可避免的，因此，最好在环境条件受到良好控制的房间中进行测量。在某些情况下，绝缘体可能具有离子型的沾污，这会产生寄生的电流，特别是在大湿度的条件下。

防护是一种减少漏电流的极为有效的方法。防护是指电路中的低阻抗点，其电位几乎等同于被防护的高阻抗的引线的电位。欲了解关于防护方面的深度讨论，请查询吉时利公司的在线手册：弱信号测量：精密DC电流、电压和电阻测量(Low Level Measurements: Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements)。

噪声和源电阻

DUT的源电阻将影响反馈式电流计电路的噪声性能。随着源电阻的降低，电流计的噪声增益也将增加。

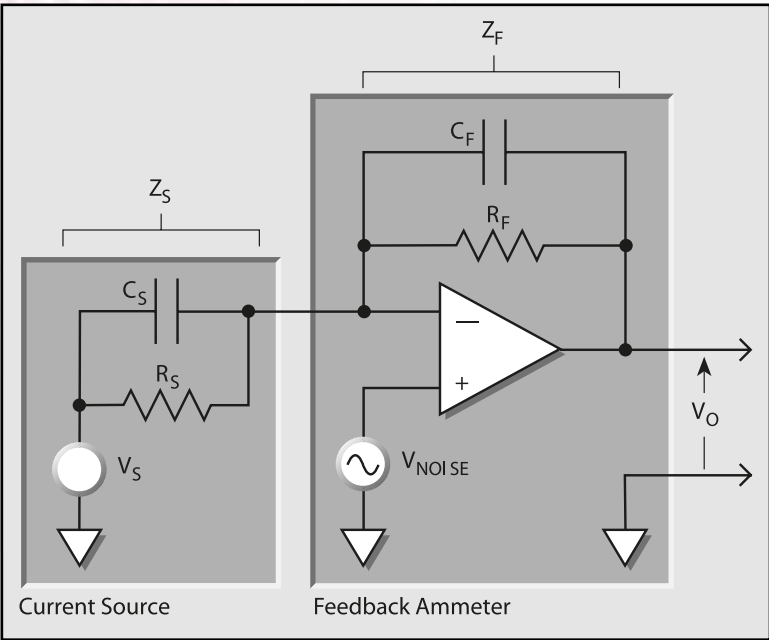


图4: 反馈式电流计的简化模型

图4示出了一个反馈式电流计的简化模型。RS 和 CS 代表源电阻和源电容，VS 是源电压，VNOISE 是电流计的噪声电压。最后RF 和CF 分别是反馈电阻和电容。电路的噪声增益可以由下式给出：

Output $V_{NOISE} = \text{Input } V_{NOISE} (1+R_F/R_S)$

请注意，随着RS的量值的减少，输出噪声增加。例如，当 $R_F = R_S$ ，输入噪声就将乘以2。源电阻过低将对噪声性能造成不利影响，因此，不同的测量范围，往往有对应的最小源电阻推荐值。表1总结了典型的反馈式电流计电路对应各种不同测量范围的最小源电阻推荐值。请注意，所推荐的源电阻值随着测量范围不同而不同，因为RF值也

表1: 典型反馈式电流计的最小源电阻推荐值

范围	推荐的最小源电阻值	
pA	1	GΩ
nA	1	MΩ
μA	1	kΩ
mA	1	Ω

取决于测量范围。请参考所用仪器的指令手册，以了解所推荐的最低的源电阻值。

源电容

DUT源电容还将影响反馈式电流计的噪声性能。一般说来，随着源电容的增加，噪声增益也会增长。

为了了解源电容的变化是如何影响噪声增益的，让我们再次参考图4中所示的简化的电流计模型。本讨论中所感兴趣的元件是源电容 (CS) 和反馈电容 (CF)。计入这两个元件的电容电抗后，我们前述的噪声增益公式必须修改为如下形式：

Output $V_{NOISE} = \text{Input } V_{NOISE} (Z_F/Z_S)$

里ZF代表由CF 和RF构成的反馈阻抗，而ZS 是RS 和CS 构成的源阻抗ZS。此外，

$Z_F = \frac{R_F}{\sqrt{(2\pi f R_F C_F)^2 + 1}}$

以及

$Z_S = \frac{R_S}{\sqrt{(2\pi f R_S C_S)^2 + 1}}$

前言..... 2

弱电流测量

测量电路..... 2

漏电流和防护..... 3

噪声和源电阻..... 3

零位漂移..... 4

电流发生..... 4

过载保护..... 6

干扰和衰减..... 6

如何使用电量计来测量弱电流..... 7

高电阻测量

恒电压方法..... 8

恒电流方法..... 8

防护..... 9

稳定时间..... 10

弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量..... 11

高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试..... 12

选用指南..... 13

名词解释..... 14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流测量（续）

请注意，随着CS 的量值的增长，ZS 的量值减少，因此噪声增益在上升。在ZS = ZF的点上，输入噪声放大2倍。

大多数皮安计的CS有一个推荐的最高值。虽然，通过插入一个与电流计输入相串联的电阻的方法往往也可以在源电容值更高的情况下进行测量，但应该记住，任何串联电阻电都将让电压负荷增加一个因子IIN·R SERIES。任何串联电阻还将增加测量的RC时间常数。一个串联的二极管或者两个背对背并联的二极管，也可以有效地替代这一场合中所采用的串联电阻。二极管可以是小信号型的，而且应当采用一个遮光的外壳。

零位漂移

零位漂移是指在仪器无输入信号的情况下，所指示的零位偏移逐渐变化的过程。除非被“归零”操作所修正，相应的偏移会添加到输入信号上而产生误差。漂移通常被定义为时间和/或温度的函数。在一段时间周期和温度范围内，零位漂移将保持在特定的极限内。由于温度的阶跃变化而造成的偏移在温度稳定前可能会超出指标范围。典型的室温变化速率(1° C/15 minutes)往往不会造成超调。

大多数静电计包括了一种对零位漂移进行修正的手段。ZERO CHECK (零位检查) 开关被用来配置大多数的静电计和皮安计，使之显示内部的电压偏移。这一功能可以对放大器的零点进行快速的检查和调节。一般说来，在启动仪器零位检查功能后，仪器的零位得到修正。这一过程可能需要定期执行，具体取决于环境条件。对静电计而言，通过轻触按钮或者由计算机发出指令就可以执行该功能。

对于皮安计或者静电计式的电流计而言，应注意到ZERO CHECK和ZERO CORRECT (零位修正) 功能用于校正内部的电压偏移。SUPRESSS (抑制) 或者REL控制则用来修正外部的电流偏移。为了获得最高精度，请在仪器调节至可以用于测量的量程范围内时进行归零。

电流发生

测试系统中任何外部产生的电流都会添加到所期望的电流上，从而带来误差。电流也可以在内部发生，正如仪器

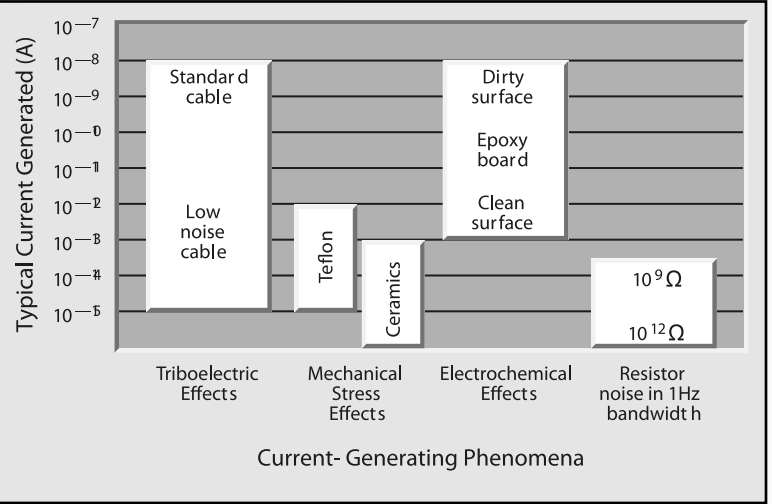


图5: 各种电流发生现象的典型强度

输入失调电流的情形，或者，它们也可能来自于外部的电源，如绝缘体和电缆。图5对多种电流发生机制的强弱程度进行了总结。

失调电流 (Offset Currents)

偏移电流可以发生在仪器的内部 (输入失调电流)，也可能来自于外部电流 (外部失调电流)。

输入失调电流

当理想电流计的输入端子开路时，其读数应该为零。然而，实际中的电流计，在输入端开路的情况下却有一定的、

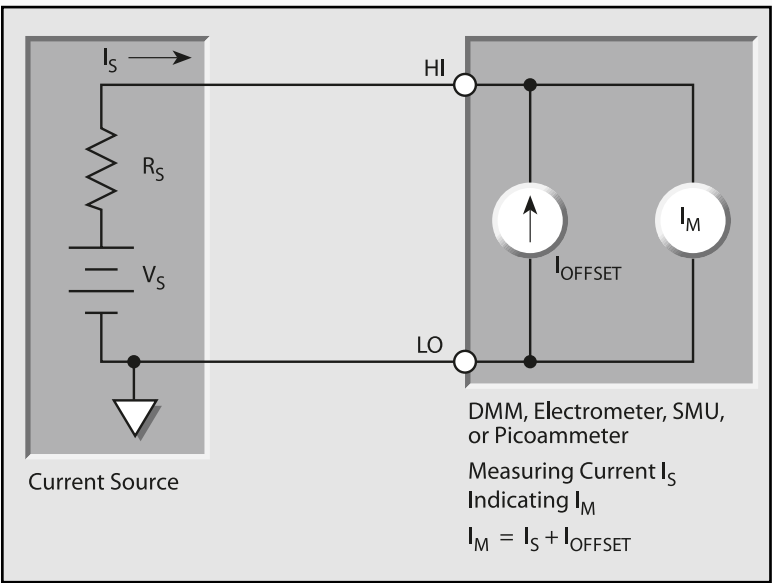


图6: 输入失调电流对电流测量精度的影响

微弱的电流流过输入端。该电流被称为输入失调电流，它是由有源器件的偏置电流以及仪器内部的绝缘体所流过的漏电流造成的。在皮安计、静电计和SMU的技术指标中都包含了内部产生的失调电流。正如图6所示的那样，输入失调电流会叠加到所测量到的电流上，因此，仪器测量到的是两种电流的总和。

$$I_M = I_S + I_{\text{OFFSET}}$$

输入失调电流的测定方法是，将输入连接器用盖帽盖上，选择最低的电流量程。让仪器静置五分钟以实现稳定，然后读取读数。该量值应该在仪器规定的指标范围内。

如果仪器具有电流抑制功能，则通过启用电流抑制功能并让输入端断开、开启ZERO CHECK功能就可以部分消除输入失调电流。

另一种将输入失调电流从测量结果中消去的方法是使用电流计的比较 (REL或者归零) 功能。当输入开路时，让读数稳定后，启动REL功能。一旦REL值建立，相应的读数就是实际输入值和REL值之间的差异。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流测量（续）

外部失调电流

外部失调电流可以由与电流计连接的绝缘体中的离子型沾污所产生。失调电流也可以由外部的源所产生，如摩擦生电和压电效应。正如图7所示的那样，外部失调电流也会添加到源电流上，而电流计测量到的信号同样也是两者之和。

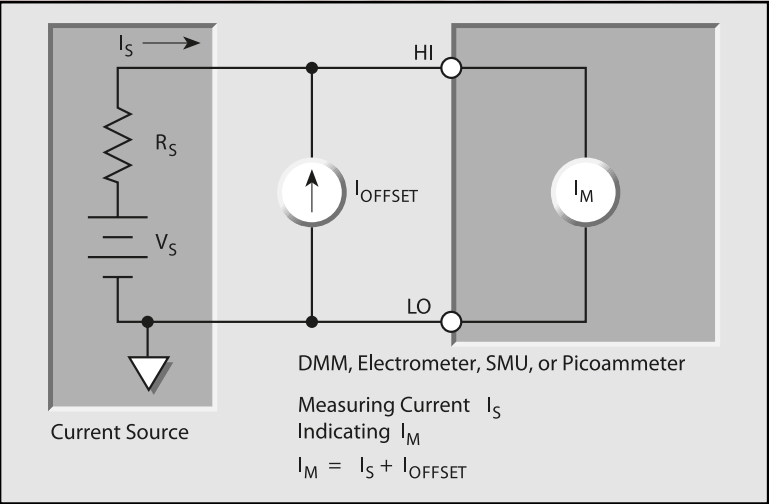


图7: 外部失调电流对电流测量精度的影响

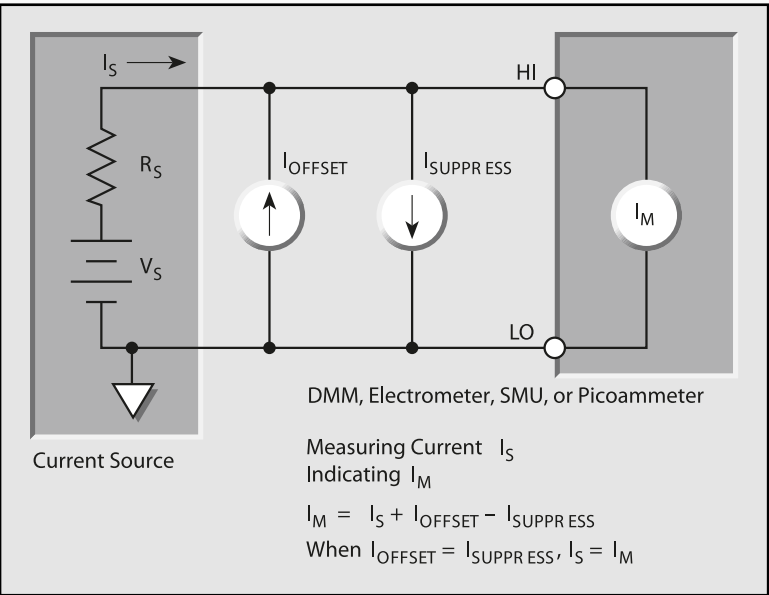


图8: 使用外部电流源来抑制失调电流。

可以借助仪器的电流抑制功能（如果仪器具备的话）来抑制外部失调电流，也可以利用一个恰当的、稳定和低噪声的外部电流源来抵消这一电流，正如图8所示的那样。

$$I_M = I_S + I_{\text{OFFSET}} - I_{\text{SUPPRESS}}$$

假定 I_{OFFSET} and I_{SUPPRESS} 在幅值上相等而极性相反，

$$I_M = I_S$$

则使用外部电流源的一个优点在于 I_{OFFSET} 可以很大，甚至高于满量程值，而只需要让 $I_{\text{OFFSET}} - I_{\text{SUPPRESS}}$ 保持在很低的水平上。

摩擦生电效应

摩擦生电电流来源于导体和绝缘体之间的摩擦运动所产生的电荷。这里，导体上由于摩擦而流失电荷，从而造成电荷的不平衡，从而形成了电流。典型的情形是共轴电缆

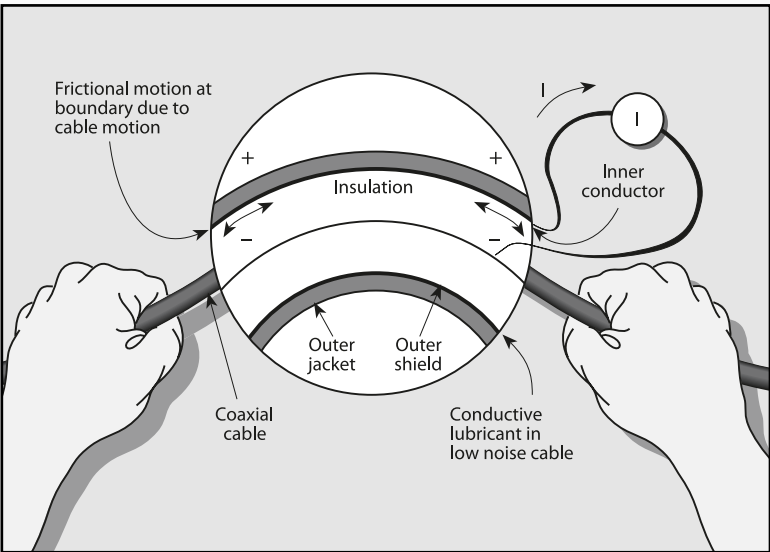


图9: 摩擦生电效应

中的绝缘体和导体相互摩擦而形成的电流，正如图9所示的那样。

“低噪声”电缆可以大大降低这一效应。它的外屏蔽层之下一一般为涂覆了石墨的聚乙烯内绝缘体。石墨可以提供润滑作用，而且构成了一个导电性的等电位圆柱体，以便实现电荷的均衡并最大限度降低电缆运动所造成的摩擦效应所产生的电荷。不过，即使是低噪声的电缆也会因为振动、扩展或收缩而产生一定的噪声，因此，所有的连接器应该保持尽可能短的长度，并远离温度变化（这会产生热膨胀力），最好用胶带支撑，或者将电缆绑到一个无振动的表面上，例如墙壁、工作台或者其他坚硬的结构上。

压电和电荷储存效应

当机械应力施加到某些用于绝缘端子和互连金属件的单晶体材料上时，会产生压电电流。在某些塑料中，成块的储存电荷会导致材料的行为类似于压电材料。图10示出了一个采用有压电性的绝缘体的接线端的例子。为了降低该效应所引起的电流，应当让绝缘体上的机械应力释放掉，而使用压电性和电荷储存效应很微弱的绝缘材料。该效应与极板和接线端之间的电容变化无关。电荷被四处移动，从而形成电流。实践中，要区分（绝缘体中）的电荷

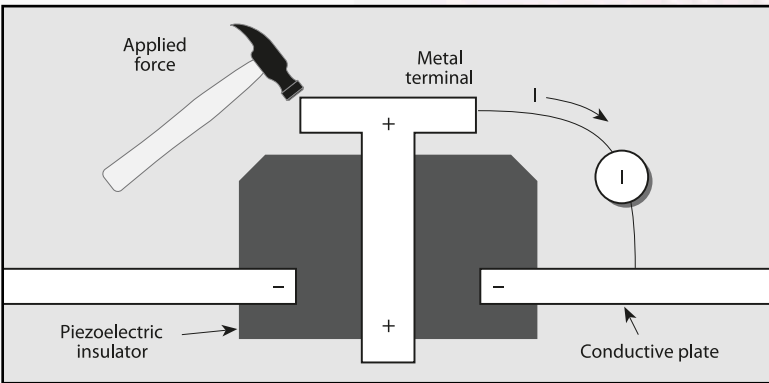


图10: 压电效应

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流测量（续）

存储效应和压电效应是很困难的。无论涉及何种现象，重要的是要选用良好的绝缘材料，并尽可能增加连接结构的刚度。

沾污和湿度

误差电流也可能来自于电化学反应，即离子型化合物会在电路板的两个导体间形成微弱的电池。例如，如果未能将常用的环氧树脂型印刷电路板上的腐蚀溶液、助焊剂或者其他沾污物彻底清除的话，则这些电路板的导体间将产生几个纳安的电流（参见图11）。

高湿度的环境或者离子型沾污也会大大减小绝缘体的电

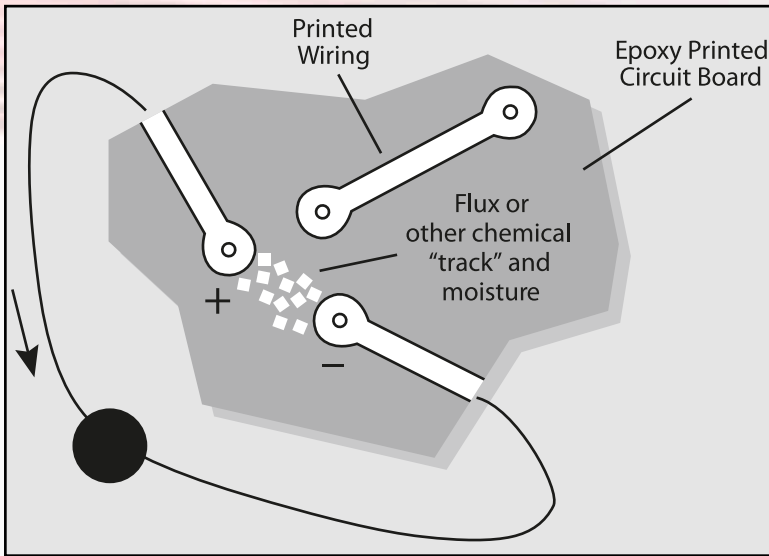


图11: 电化学反应

阻。高湿度条件下一般会出现水分的凝聚或者吸收，而离子沾污可能是人体油脂、盐类或者助焊剂所引起的。

虽然这些沾污的主要效果是绝缘电阻的下降，但高湿度和离子型沾污的同时出现却会形成导电通路，或者，它们甚至会构成一个具有高串联电阻的电化学电池。以这种方式形成的化学原电池可以长期输出皮安或者纳安级的电

流。为了避免沾污和湿度的影响，请选用能够抵御水汽吸附的绝缘体，并让湿度保持在适中水平上。另外，还应当确保所有的绝缘材料干净而不受沾污。

如果绝缘体受到沾污，请用甲醇等清洁剂清洗所有的互连电路。重要的是在所有的沾污溶解到溶剂中后将其全部冲走，避免其重新沉积。清洗时，请仅仅使用高纯度的溶剂；较低等级的清洗剂可能会包含一些沾污物，这些污物会形成电化学薄膜。

电介质吸收

当绝缘体两端存在电压时，由于各种不同极性分子的驰豫速率不同，绝缘体内部会出现正和负电荷的极化（分离），于是绝缘体中会出现电介质的吸附。当电压被去除时，分离的电荷在通过与绝缘体相连的电路而重新复合时，会产生一个逐渐衰减的电流。

为了最大限度降低电介质吸收对电流测量的影响，请让向灵敏的电流测量中所使用的绝缘体施加的电压保持在几伏以下。当不得不采取这种做法是，可能需要花费几分钟甚至几个小时来让电介质吸收所产生的电流消散。

Overload Protection

如果输入端的电压过高，静电计、皮安计和SMU都会受损。大多数仪器都对容许的最高电压输入作出了规定。在某些应用中，可能无法避免超出该最大电压的范围。这些应用的实例包括电容的漏电流、二极管反向漏电流或者电缆、薄膜的绝缘电阻等的测量。如果元件或者材料出现击穿，则所有的电压将施加到电流计的两端，可能会导致其破坏。在这些情况下，需要采用进一步的过载保护措施，以避免造成仪器的输入电路的损伤。

AC干扰和衰减

在测量弱电流时，静电屏蔽是降低由于AC干扰所造成的噪声的最常用手段。不过，在某些情况下，对待测器件或者连接电缆进行屏蔽并不现实。对于这些应用来说，一个可变的衰减（阻尼）控制可以将AC信号的敏感降低到足以完成有意义的测量的程度。衰减电路是一类低通滤波器，它们可以减少静电计的AC响应，从而让低DC电流能被精确地测量出来。静电计中可能已经设置了衰减电路，也可能需要外接。请参考仪器的指令手册，以了解特定静电计的内置式衰减功能方面的信息。不过，有时可能要借助外接电路来提高衰减作用。

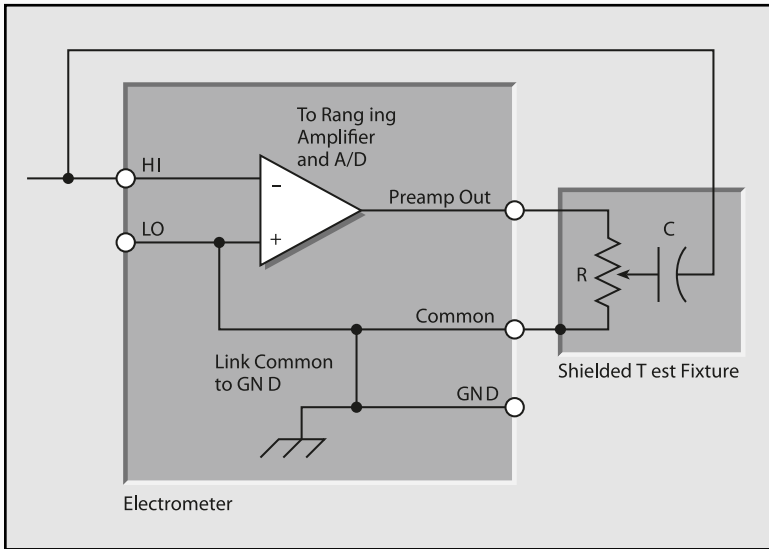


图12: 外部衰减电路

图12示出了外部衰减电路的示例。该电路由一个低漏电流的聚苯乙烯或者聚酯电容器（C）和一个电位计（R）构成。电位计连接到预放大器的输出端以及电流计的公共（或者LO）端之间。电容器连接到电流计电路的HI输入端和电位计的移动臂之间。电容器的量值取决于电流计的

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多？

特色资源



- 如何改进对纳米电子学和分子电子学器件的弱电流测量
- 精确的纳米技术电性能测量方法
- 可减少外部误差源的仪器技术



- 电子的计数：如何测量aA量级的电流
- 能够释放Lockin的新型仪器

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流测量（续）

电流范围。范围越宽，则所需的电容值越大。不过，典型的电容值一般在数百皮法范围。电位计的量的选择应该足够高 (>50kΩ) 以避免对预放大器输出形成加载效应，而且同时还要能有效降低噪声。

在选择电容器和电阻的最佳量值时，还需要进行一定的试验。将示波器连接到模拟输出段，观察示波器上的AC波形。调节电位计，以便尽可能减小AC信号。如果电位计对噪声的抑制作用不充分的话，则可以使用一个更大的电容器。衰减电路应当采用一个屏蔽外罩。

如何使用电量计来测量弱电流

在大多数情况下，用电流计或者皮安计来测量电流。然而，对于飞安级的电流，最好使用静电计的电量计功能来测量电荷随时间的变化，然后在这些电荷量的测量值来确定电流。电荷难以直接测量；它必须与一个测量较为简单的量关联起来。此种测量的一种常用方法是测量量值已知的电容两端的电压。电荷与电容电压间存在如下关系。

$$Q = CV$$

Where 式中: Q = 电容电荷 (库仑)

C = 电容值 (法拉)

V = 电容器两端电压 (伏特)

一旦了解了电荷变化的速率，就可以从电荷测量结果中方便地确定电流值。瞬态电流可以简单表示为：

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

而长期的平均电流可以定义为

$$I_{AVG} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

于是，我们可以看出只需进行一系列电压测量就可以测量出电荷并确定电流。

用电量计测量电流所带来的优势

在某些情况下，使用电量计而非电流计来测量电流具有若干优势：

- 低电流噪声：电流计使用了反馈电阻，这会产生显著的Johnson噪声。对于电荷测量而言，该电阻为一个电容所取代，因此理论上不会具有Johnson噪声。于是，与反馈式电流计相比，通过电荷进行电流测量的方法可以保证更低的噪声。于是，当电流噪声性能要求低于1fA p-p时，最好采用电荷测量法。
- 更短的稳定时间：反馈式电流计的速度受到其反馈电路的时间常数 (R/CF) 的限制。例如，对于反馈电阻大于10GΩ的情形，杂散电容的存在将响应时间限制为数十个毫秒。相比之下，一个反馈式积分器将能够实现快速响应，而且仅仅受到运放工作速度的限制。
- 可以对随机脉冲进行积分：每单位时间内，随机脉冲序列所传输的平均电荷量，可以通过在特定时间段内对电流脉冲序列进行积分来评估。于是，平均电流幅度大小可以表示为总的电荷量除以测量的总时间。该方法对于对非常小的、不稳定的电流来说是极为有效的。如果占空比已知，就可以确定脉冲高度。
- 输入旁路电容的噪声影响可降至最小：噪声增益主要是由CIN/CF来决定的，而一个电量计的CF要远远大于电流计的，因此，可以容忍大得多的输入电容值。这一特性对于面向高电容信号源的测量或者使用长连接电缆的情况来说是很有好处的。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用：雪崩光电二极管反向偏置电流测量	11
高电阻应用：高欧姆值电阻的电压系数测试	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多？

更多资源

- 连接器生产测试的解决方案
- 如何用吉时利2400 系列信号源 – 测量仪®一体化仪器进行二极管生产测试
- 人们需要特别关注电流开关特性以确保测试系统精度。
- 如何用低噪声的吉时利4200 – SCS半导体特性测试系统完成超低电流测量
- 问题：弱电流测量中的噪声

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

高电阻测量

必须对大于1GΩ的电阻进行测量时, 往往需要使用静电计、SMU或者皮安计/电压源。一个静电计可以通过恒电压或者恒电流法来测量高电阻。有些静电计容许用户选用其他方法。恒压方法使用一个电流计和电压源, 而恒流法则使用一个静电计、电压计和电流源。

恒电压方法

要运用恒电压方法测量高电阻, 就需要使用能测量弱电流的仪器和恒定DC电压源。有些静电计和皮安计内置有电压源, 可以自动计算出未知的电阻值。采用静电计或者皮安计以恒定电压法进行测量的结构示于图13a中。正如

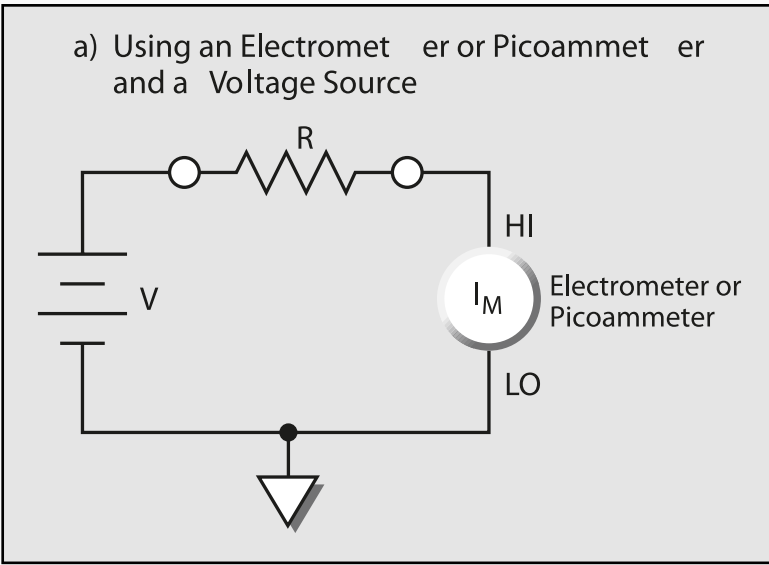


图13a: 通过一个静电计或者皮安计以恒定电压法进行高电阻测量的测试结构图

图13b所示的那样, 一个SMU也可以用来以恒定电压法完成高电阻测量。

在这种方法中, 将一个恒压源(V)与一个未知的电阻(R)和电流计串联。由于电流计两端的电压降可以被忽略, 几乎所有的测试电压降都落在R两端。相应的电流由电流计测试, 而电阻可以用欧姆定律($R=V/I$)来计算。

高电阻常常是所施加电压的函数, 因此, 恒压法优于恒流法。通过在所选择的电压点上进行的测试, 可以绘制出电阻 vs. 电压曲线, 并确定“电阻的电压系数”。

采用这种方法的一些应用包括: 对双端高阻器件的测试、

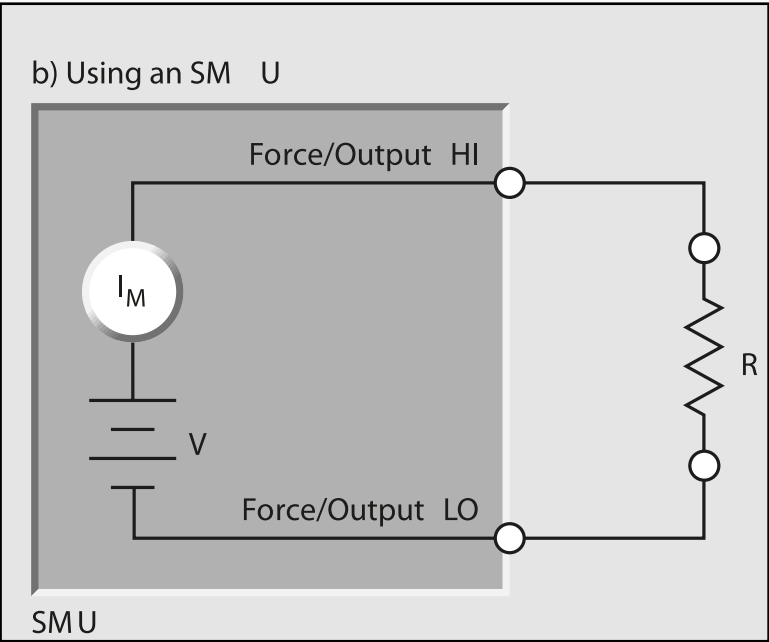


图13b: 通过一个SMU以恒定电压法测量高电阻的测试结构图。

绝缘电阻的测试和绝缘材料的体、表面电阻率的测定。

恒定电压法则需要对弱电流进行测量, 因此在“弱电流测量”一节中所提及的所有的技术和误差源也适用于本方法。在测量高电阻时最常见的量值误差源是静电干扰(可以通过对高阻抗电路进行屏蔽来使其最小化)以及漏电流(可以通过防护来控制)。

恒电流方法

使用恒电流方法进行的高电阻测量可以借助静电计型的电压计和电流源或者仅仅通过静电计型的电阻计来实现。也可以使用集成了高输入阻抗电压计和弱电流信号源的SMU。使用具有单独的电流源的静电计型电压计或者一个SMU, 就可以让用户完成4线测量, 并控制流过样品的电流大小。静电计型的电阻计则可以以特定的测试电流完成2线式的电阻测量, 具体则取决于测量范围。

使用静电计型电压计和外部电流源

图14示出恒电流法测量所用的结构。源流出的电流流经未知电阻(R), 相应的电压降则由静电计型电压计(V)测量。使用该方法可以测量高达10¹²Ω的电阻。即使这一基本流程看起来很简单, 但也要采取一些预防性措施。电压计的输入阻抗与源电阻相比必须足够高, 以将负载造成的误差保持在可接受的极限范围内。一般说来, 静电计型的电压计的输入阻抗约为10¹⁴Ω。此外, 电流源的输出电阻必须远远大于未知的电阻, 才能保证测量是线性的。样品两端的电压取决于样品的电阻, 因此, 当使用恒流法时,

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

高电阻测量(续)

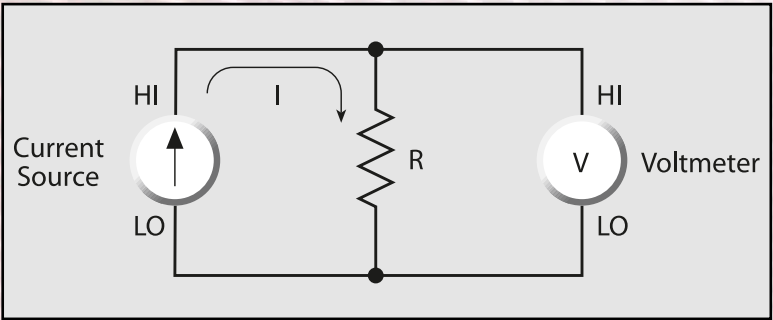


图14: 利用单独的电流源和电压计进行的恒流法测量

这使得电压系数的计入变得很困难。如果电压系数是所关心的问题，最好使用恒电压法。在使用四点探针法或者van der Pauw技术来确定半导体材料的高电阻率时，使用静电计型电压计和单独的电流源。

在输出电流源、测量电压模式下运用SMU

运用二线（本地测量）或者四线（远程测量）方法，可以借助SMU在输出电流信号/测量电压模式中测量高电阻。图15示出了已知以4线模式工作的SMU。四线法用来消除接

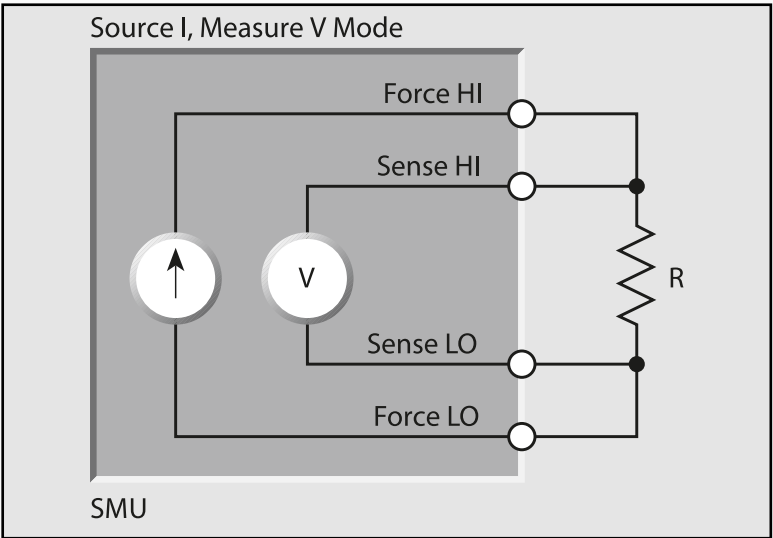


图15: 在4线模式中运用SMU来测量高电阻。

触和引线电阻，这在测量半导体材料时是特别重要的。这些测量往往需要测量低电压。金属探针与半导体材料间的接触电阻可能会非常高。在使用远程感测模式时，high force（高强制）和high sense（高敏感）以及low force（低强制）和low sense（低敏感）之间的电压往往被限制为规定值。超过这一电压差，则会造成不可重复的测量。请查核你的SMU的指令手册，以了解关于这一极限的进一步信息。

除了电压降方面的限制外，有些SMU在HI Force和HI Sense端子之间以及LO Force和LO Sense端子之间还设置了自动的遥感电阻。这可以进一步限制某些应用（如半导体电阻率）中单个SMU在远程模式下的使用。如果属于这种情况，可以将SMU用作两线模式的电流源，并用一个或多个单独的电压计来测量电压差，可参见吉时利的“弱信号测量手册”的第4.4.3节以了解进一步的信息。

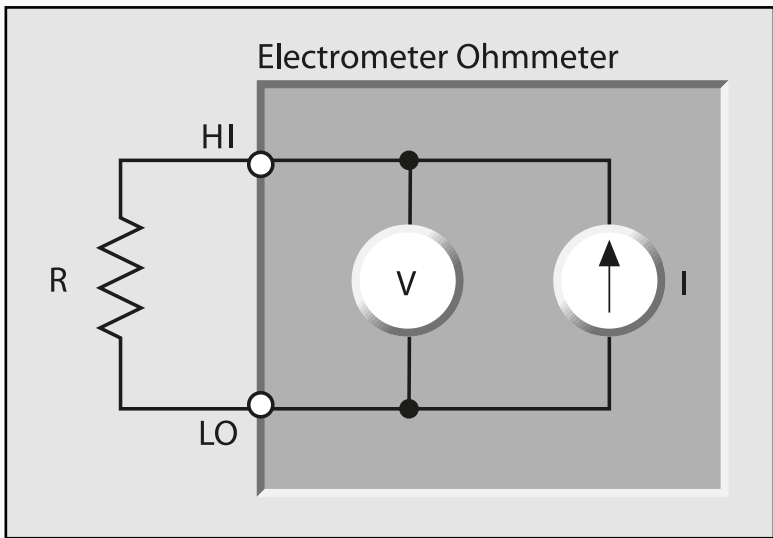


图16: 在4线测量模式中使用SMU来测量高电阻

运用静电计型欧姆计

使用静电计型欧姆计时，测量精度会受到多种因素的影响。图16示出了运用静电计型欧姆计来测量电阻（R）的方法。该欧姆计使用内部电流源和静电计式电压计来进行测量。它可以自动计算并现实所测量出的电阻。请注意，与使用静电计式电压计和外部电流源（可进行4线测量方法）相比，这是一种2线式的电阻测量方法。这是因为电流源是从内部与电压计连接的，无法单独使用。

防护

与电流测量类似的是，对高阻测试连接进行防护，可以会显著地减少电缆漏电电阻带来的影响，并提高测量精度。用单位增益放大器来驱动电缆的屏蔽层，可以基本上消除电缆电阻（和其他的漏电电阻）的负载效应，正如图17所示的那样。因为RL两端的电压几乎为零，所有的测量电流（IR）现在流过RS，源电阻值可以被精确地确定。通过电缆到地的漏电路径（RG）流动的漏电流（IG）也是可

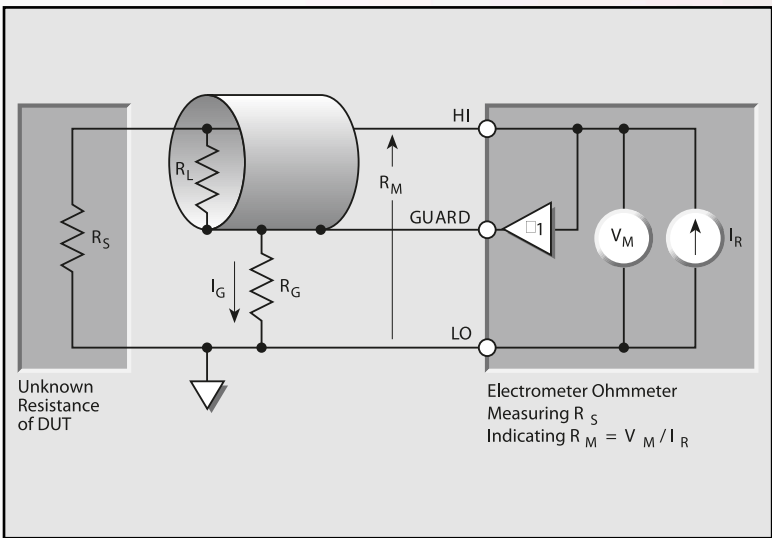


图17: 对电缆屏蔽进行防护以消除漏电阻

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多?

特色资源



- 如何提高超高电阻和电阻率测量的可重复性
- 用于测量高电阻率和半导体材料霍尔电压的仪器和技术
- 绝缘体材料的体、表面电阻率测量

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

高电阻测量(续)

观的, 但该电流是由单倍放大器的低阻抗输出而非电流源 (IR) 来提供的。

稳定时间

在进行高电阻测量时, 电路的稳定时间具有非常重要的意义。测量的稳定时间受到旁路电容的影响, 它由连接电缆、测试夹具和DUT等的电容构成。正如图18所示的那样, 旁路电容 (CSHUNT) 必须由电流 (IS) 充电到测量电压。电容充电所需要的时间长短是由RC时间常数 (一个时间常数 $\tau = R_S C_{SHUNT}$), 于是便出现了图19所示的、人们熟悉的指数型曲线。因此, 人们需要等待4或5倍时间常数来达到精确的读数。在测量极高的电阻值时, 稳定时间可以达到数分钟, 具体取决于测试系统中的旁路电容的量值。例如, 如果CSHUNT仅有10pF, 一个1TΩ的待测电阻对应的时间常数为10s。于是要让测量读数稳定到最终值的1%之内, 需要约50s的稳定时间。

为了在测量高电阻时, 最大限度减少稳定时间, 请尽可能缩短连接电缆的长度, 从而让系统中的旁路电容保持在绝对最小值上。此外, 也可以用防护手段来大大缩短稳定时间。最后, 通过输出电压、测量电流的方法来测量电阻往往会更快, 因为其稳定时间更短。

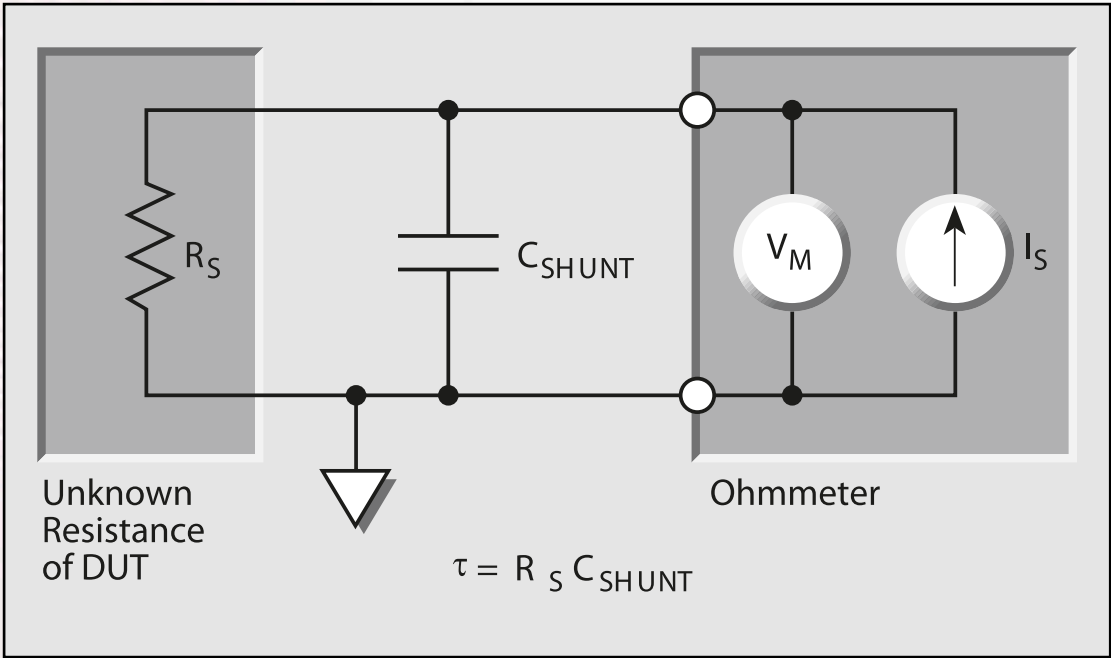


图18: 稳定时间是RSCSHUNT时间常数作用的结果

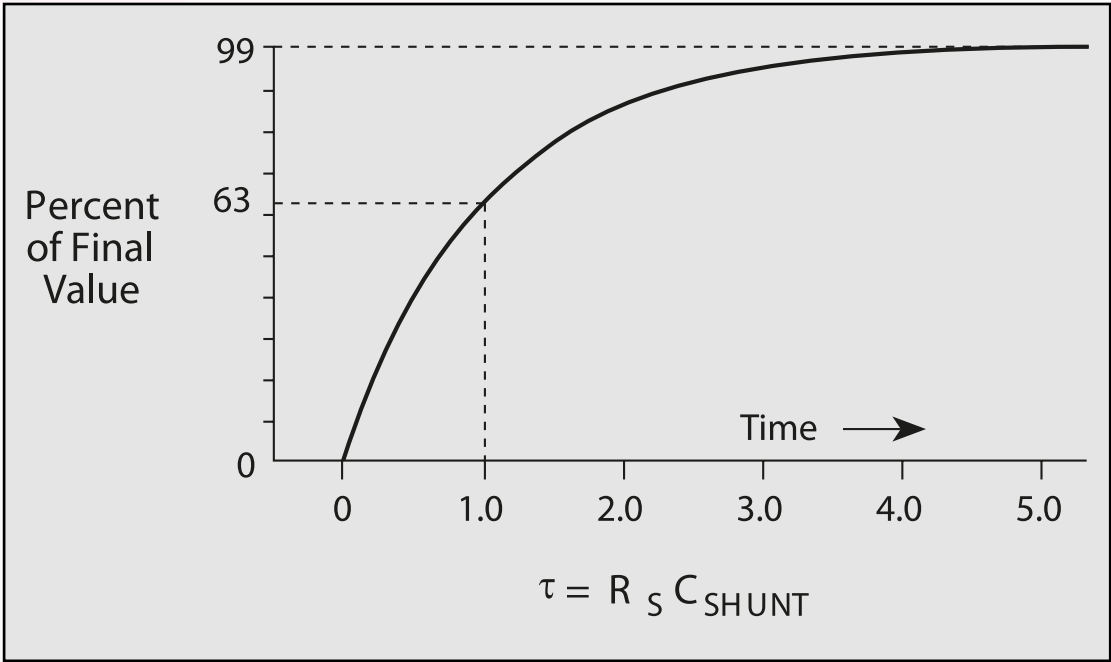


图19: 由于旁路电容和源电阻决定的时间常数的存在, 稳定过程呈指数型变化。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多?

更多资源

- 问题: 高电阻测量中高噪声的读数
- 如何用6线式欧姆测量技术来进行更精确的电阻测量。

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

弱电流应用：雪崩光电二极管反向偏置电流的测量

雪崩光电二极管 (An avalanche photodiode) 是一种高灵敏度的、高速的光电二极管，其内部的增益机制是通过施加反向电压来激活的。APD的增益会受到反向偏置电压的大小的控制。更高的反向偏置电压可带来更大的增益。APD工作时的电场强度会使得光电流出现类似于链式反应的雪崩倍增现象。APD用于各种需要对光高度敏感的应用，如光线通信和闪烁探测器。

对APD的反向偏置电流的测量需要一种能在很宽的范围内敏感电流且同时产生电压扫描输出的仪器。鉴于这些要求，诸如6487皮安/电压源或者6430型亚飞安远程信号源-测量仪一体仪器便成为这些测量的理想选择。

图20示出一台与光电二极管连接的6430型仪器。光电二极管放置在一个受到电气屏蔽的暗箱中。为了屏蔽这一灵敏的电流测量装置，使之不受静电干扰，可将暗箱箱体连接到6430的LO端上。

图21示出了用吉时利6430型信号源测量仪一体仪器对InGaAs APD进行测量后获得的电流-反向电压扫描曲线。请注意电流测量是在很宽的量程范围内进行的。随着光的增强，雪崩区变得更为显著。击穿电压将使得电流自由流动，因为此时无需光照光电二极管即可产生电流，电子-空穴对就大量产生。

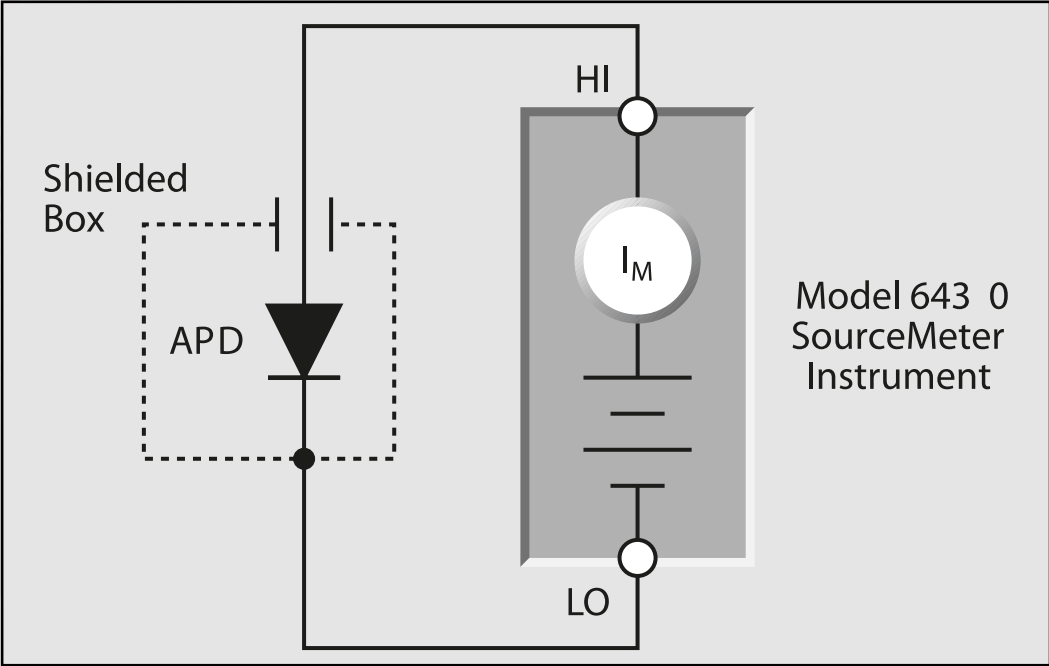


图20： 与一台6430型亚飞安远程信号源-测量仪一体化仪器连接的APD。

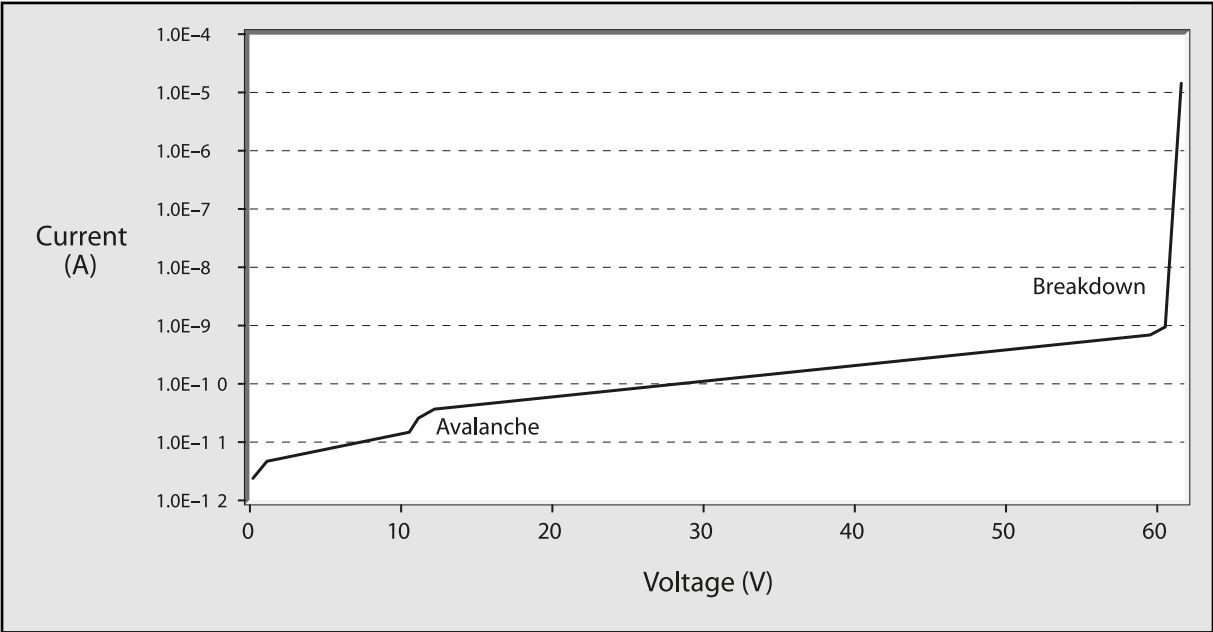


图21： 一种InGaAs APD的电流vs. 反向电压扫描曲线。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用：雪崩光电二极管反向偏置电流测量.....	11
高电阻应用：高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

希望了解更多？

特色资源



• 具有大面积和极高特异性探测分辨能力的4H-SiC UV 光电探测器

• 问题：低电流测量中的误差

更多资源

• 用于弱电流/高阻应用的高精度皮安计

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

高阻应用：高阻值电阻器的电压系数测试

高阻值电阻器的阻值会随着所施加的电压变化而产生显著的变化。该效应被称为电压系数。电压系数是指对应所施加电压的单位变化而出现的电阻百分比变化，可以由下式定义：

$$\text{Voltage Coefficient (\%/V)} = \frac{(R_2 - R_1)}{R_1} \times \frac{1}{(V_2 - V_1)} \times 100$$

或者，电压系数也可以由下式以ppm形式来表示：

$$\text{Voltage Coefficient (ppm/V)} = \frac{(R_2 - R_1)}{R_1} \times \frac{1}{(V_2 - V_1)} \times 10^6$$

式中： R_1 = (V1)用所施加的第一个电压 (V1) 所计算出的电阻值。

R_2 = (V2) 用所施加的第二个电压 (V2) 所计算出的电阻值。

$V_2 > V_1$

一个10 GΩ电阻的典型电压系数值约为-0.008%/V或者-80ppm/V。于是，如果测量电路中需要采用一个大电阻，则除了所有其他与时间和温度有关的误差因素外，其电阻测量的误差分析必须计入电阻的电压系数所引入的误差。

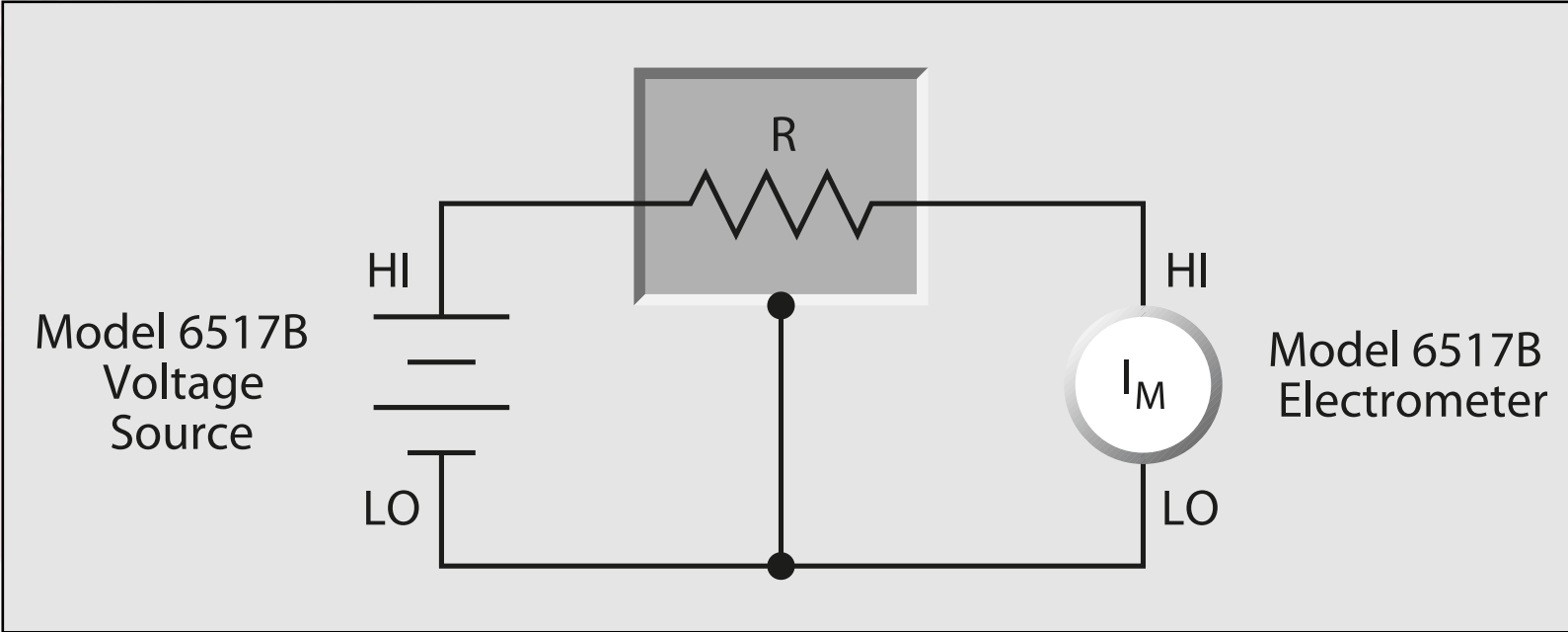


图22: 6517B静电计进行电压系数测试时的连线方式。

用吉时利6517B型仪器来确定电压系数

对一个高电阻的电压系数进行测量必须采用输出电压而测量弱电流的方法。该测量需要采用一台静电计，如吉时利6517B。6517B内置了决定电压系数所需的测试程序。该测试可以在两种不同的电压水平下进行电阻测量，然后计算出电压系数。电压系数以每伏特变化对应的阻值变化百分比的形式来显示。

图22示出了用吉时利6517B型仪器进行电压系数测量时的典型测试设置。为了最大限度减小噪声和漏电阻，待测电阻器应当置于一个受到屏蔽和防护的测试夹具中。将测试夹具的屏蔽与静电计的LO端相连，并把静电计的LO端与信号源的LO端相连。将静电计的HI端与电阻的一端相连，而将电压源的HI端与其另一端相连。

在施加第一个测试电压V1作用下首先测试得到一个阻值R1。接下来，施加第二个测试电压V2 (V2往往大于V1)，测得R2。于是用上面给出的方程可以计算出电阻的电压系数。

- 前言..... 2
- 弱电流测量
- 测量电路..... 2
- 漏电流和防护..... 3
- 噪声和源电阻..... 3
- 零位漂移..... 4
- 电流发生..... 4
- 过载保护..... 6
- 干扰和衰减..... 6
- 如何使用电量计来测量弱电流..... 7
- 高电阻测量
- 恒电压方法..... 8
- 恒电流方法..... 8
- 防护..... 9
- 稳定时间..... 10
- 弱电流测量应用：雪崩光电二极管反向偏置电流测量..... 11
- 高电阻应用：高欧姆值电阻的电压系数测试..... 12
- 选用指南..... 13
- 名词解释..... 14

希望了解更多？

特色资源



- 运用双台2410型信号源-测量仪®一体单元完成高压元器件的生产测试
- 如何配置一台分立电阻的验证测试系统

更多资源

- 降低电阻测量不确定性的技术：DC电流反向 vs. 静电的失调补偿

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

Selector Guide

	电流放大器	皮安计			静电计		信号源—测量仪—体化单位
型号	428—PROG	6485	6487	2502	6514	6517B	6430
电流测量							
从 ¹	1.2 fA	20 fA	20 fA	15 fA	<1 fA	<1 fA	400 aA
至	10 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA	100 mA
电压测量							
从 ²					10 μ V	10 μ V	10 μ V
至					200 V	200 V	200 V
电阻测量 ⁴							
从 ⁵			10 Ω		10 Ω	100 Ω	100 $\mu\Omega$
至			1 P Ω		200 G Ω	10 P Ω ³	10 P Ω ³
电荷测量							
从 ²					10 fC	10 fC	
至					20 μ C	2 μ C	
功能							
输入连接	BNC	BNC	3 带槽三轴电缆	3 带槽三轴电缆	3 带槽三轴电缆	3 带槽三轴电缆	3 带槽三轴电缆
IEEE—488							
RS—232							
防护							
CE							
其他	2 μ s 上升时间. 10 ¹¹ V/ 增益.	5½ 数位, 自动量程 调整, 1000 rdg/s.	5½ 数位, 内置500V信号 源, 采用交变电压法进行高 电阻扫描.	5½ 数位, 双通道, 每通 道内置一个100V信号源.	5½ 数位, 取代6512 型, 617—HI Q.	5½ 数位, 内置 $\pm$ 1kV信号源, 温度、RH测量功能, 交 变极性法进行高阻测量. 可提供插入式开关卡。用 于取代6517A	信号源—测量仪—体仪器, 带 有远程预放大器, 以最大限度 降低电缆噪声。

	电流源		电压源	信号源—测量仪—体单元	
型号	6220	6221	248	2635A	6430
电流源					
电压源					
沉					
电流输出					
精度 ⁷	2 pA	2 pA DC 4 pA AC		2 pA	10 fA
分辨率 ⁸	100 fA	100 fA (DC & AC)		20 fA	50 aA
最大值	$\pm$ 105 mA	$\pm$ 105 mA		$\pm$ 1.5 A DC and pulsed/10 A pulsed per channel	$\pm$ 105 mA
电压输出					
从			$\pm$ 1.5 V	$\pm$ 5 μ V	$\pm$ 5 μ V
至			$\pm$ 5000 V	$\pm$ 202 V	$\pm$ 210 V
功率输出	11 W	11 W	25 W	30.3 V/channel	2.2 W
电流限			5.25 mA	1 fA to 10 A	1 fA to 105 mA
电压限	105 V	105 V	0 to 5000 V	1 μ V to 200V	0.2 mV to 210 V
精度 ($\pm$ 设置)					
I	0.05%	0.05%		0.03%	0.03%
V			0.01%	0.02%	0.02%
功能					
输出连接器	3 带槽三轴电缆	3 带槽三轴电缆	SHV高压共轴电缆	螺纹连接端子, 用于香蕉和三轴插头的适配器	3 带槽三轴电缆
以太网					
RS—232					
IEEE—488					
内存	65,000 点.	65,000 点.		>100,000 读数/缓冲器	2500 点.
远程感测					
电流源防护					
其他					
Other	控制2182A进行低功率电阻和I—V测量	AC和DC电流源。 直到100kHz的任意波形发生 能力。如同6220—样控制2182A, 增加了脉冲式 的I—V	电压监测输出。 可编程的电压限	利用TSP—Link [®] 技术后, 可扩展到64个以上的 通道	

前言.....	2
弱电电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电电流	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护	9
稳定时间.....	10
弱电电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

注

1. 包含噪声
2. 数字分辨率极限。可能已经叠加了噪声。
3. P Ω (Petaohms) = 10¹⁵ Ω .
4. 电阻值是用吉时利237型仪器在输出电压/测量电流模式下或者输出电流/测量电压模式下测量到的, 但未直接显示。
5. 精度优于1%的情况下可测量的最低电阻值。
6. 精度优于10%的情况下可以测量到的最高电阻值。
7. 源的最好分辨精度
8. 源可以提供的最小电流范围和最小电流变化所对应的分辨率。

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

名词解释

绝对精度 用于衡量仪器读数与原始标准量的接近程度，该原始标准应可以追溯到得到人们认可的标准化组织所批准的一个标准。精度常常可以分解为增益和偏移项。也参见**相对精度**。

A/D (模拟－数字) 转换器.用于将模拟输入信号转换为数字信息的电路。所有数字化仪表都使用A/D变换器来将输入信号变换为数字化信息。

模拟输出. 与输入信号成正比的输出信号。

组装器 一种可以通过定位分子来引导化学反应的分子制造器件。组装器可以编程设定为以简单的化学基本构件制造出几乎任何一种分子结构或者器件。

量程自动设定. 仪器自动在各量程中自动切换、以确定能提供最高分辨率的量程的能力。这些量程往往以十倍程为步进。

量程自动设定时间. 对于具有量程自动设定能力的仪器，施加一个阶跃的输入信号与其显示之间的时间间隔，包括了确定并切换至恰当的量程的时间。

带宽.可以在某些极限值之间对信号进行传导或者放大的频率范围。带宽往往由－3dB (半功率) 点来定义。

偏置电压. 在测试过程中，施加到电路或者器件以建立基准水平或者工作点的电压。

电容. 在一个导体和电介质构成的电容器或者系统中，导体间存在电势差时，结构存储极性不同电荷的特性。电容与电荷和电压间的关系如下: C = Q/V, 式中C是以FARAD为单位的电容值，Q是以库仑为单位的电荷量，V是以伏特为单位的电压。

碳纳米管. 用一层单层碳原子构成的管状纳米器件，它具有新颖的电和拉伸特性。这些纤维的电导率可以与铜相当，热导率可以与金刚石相当，而拉伸强度则比钢大100倍，重量则只有钢的1/6，并具有高的失效应变。它们可以具有超导特性、绝缘特性、半导体特性或者导体性（金属性）。非碳的纳米管，常常称为纳米线，常常是从BN或者Si生成的。

通道 (开关). 在一个开关卡上的多个信号通道中的一个。对于扫描仪或者复用器卡来说，通道用来在测量电路中作为一个可切换的输入，或者在信号源电路中用作可切换的输出。对于开关卡而言，每个通道的信号通路都独立于其他通道。对于矩阵卡而言，通道是由行/列的交叉点上的继电器的动作来建立的。

共轴电缆.由相互绝缘的两个或更多共轴的圆柱形导体构成的电缆。最外层的导体常常接大地地线。

共模抑制比 (CMRR).仪器抑制输入端共同输入的相对于地的电压所造成的干扰的能力。往往以在某个给定频率上的分贝数。

共模电流. 在仪器的输入低电平 (LO) 端子和机柜地线之间流过的电流。

共模电压.输入低电平和仪器大地接地点之间的电压。

接触电阻.继电器或者连接器的触点间闭合或者接触上时，触点间以欧姆为单位的电阻。

沾污.一般用来描述不希望出现的、会给半导体或者绝缘材料的物理、化学或者电特性带来不利影响的材料。

D/A (数字－模拟) 转换器. 用于将数字信息转换为模拟信号的电路。在很多仪器中，D/A转换器被用来提供一个隔离的模拟输出。

介质吸收. 原来充电的电容短暂放电后残余存储电荷所产生的影响。

数字多用表 (DMM).用来测量电压、电流、电阻或者其他参数的电子仪器，它可以将模拟信号转换为数字信息，并进行显示。典型的五种功能的DMM可以测量DC电压、DC电流、AC电压、AC电流和电阻。

漂移.在输入信号或者工作条件不变的情况下，仪器读数的渐变过程。

干电路测试.为防止氧化物的干扰或其他因素使得待测器件出现性能下降，在让器件两端的电压保持在某一水平之下 (如<20mV) 的同时，对器件进行测量。

电化学效应. 由沾污和湿度所形成的化学原电池所产生的电流现象。

静电计. 高度精细化的DC多用表。与数字多用表相比，静电计的特点是输入电阻更高而且对电流的灵敏度更高。它还具有DMM一般所不具备的功能（例如对电荷的测量能力、电压信号的输出能力）。

EMF. 电动势或者电压。EMF一般用于描述电磁场、电化学或者热效应引起的电压差。

静电耦合.描述由于导体附近存在一个可变的或者移动的电压源而产生电流的现象。

误差. 测量结果偏离其真值的程度 (差值或者比例)。真值本质上是不确定的。也参见随机误差和系统误差。

下降时间.信号从其峰－峰值的较高的百分比 (通常是90%) 变化到较低的百分比 (往往是10%) 所需要的时间。也参见上升时间。

FARADAY杯.FARADAY杯 (有时也称为FARADAY笼或者冰

桶) 是一种用金属片或者网笼制成的封闭结构。它由两个电极组成，一个套着另一个，中间隔以绝缘体。内电极与静电计相连，而外电极与地线连接谡。当一个带电体放置在内电极内部后，所有的电荷将流入测量仪器。在一个封闭的、中空的导体内部的电场为零，因此法拉第杯可以对放置在其内部的物体起到屏蔽作用，使之免受任何大气或者杂散电场的影响。这就使得人们能够对该物体进行精确的测量。

反馈式皮安计.一种使用了一个运放反馈构型的、灵敏的电流计，该电路结构可以将输入电流变换为电压，从而实现测量。

浮置. 当大地地线和仪器或者所关心的电路间存在共模电压的情形。(电路低电平段并未与大地电位连接。)

四点探针.四点共线探针的电阻率测量方法，是将四个等间距的探针与阻值待测的材料相接触。该阵列放置在材料的中央。其中两个外侧的探针流过已知的电流，而以两根内侧的探针测量电压。电阻率可以用下式计算出：

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \times t \times k$$

式中: V = 以电压为单位的测量电压值，I = 安培为单位的源电流，t = 以厘米为单位的圆片厚度，k = 根据探针到晶圆直径之比和晶圆厚度与探针间隔之比所确定的修正因子。

四端电阻测量.一种测量方法，即用两根导线向未知的电阻提供电流，而用两根不同的导线来敏感电阻两端的电压。在测量低电阻时，该四端构型可以提供最大的好处。

富勒烯. 也称为C60，一种近似球形的、中空的碳分子，其中包含了60个C原子，相互间构成互锁的六边形和五边形，该称谓用于纪念网格状穹顶式结构的创造者建筑师R. BUCKMINSTER FULLER。有时也称为“BUCKMINSTERFULLERENCE烯”或者“巴基球”

地线环. 当两种或更多的仪器连接到地总线、大地地线或者电力线地线的不同点上时，所出现的情形。地线环会产生不希望出现的偏移 (失调) 电压或者噪声。

防护. 一种可以降低漏电误差、缩短响应时间的技术。防护包括一个由低阻抗源驱动的、环绕着高阻抗信号引线的导体。防护层电压保持在信号电压的电平上，或者接近于该电平。

霍尔效应. 将导体放入磁场中并对导体两端的横向电压

进行测量的方法。采用该测量方法时，可以确定硅中载流子的类型、浓度和迁移率。

高阻抗端接.指这样一种端子，其源电阻乘以预期的杂散电流 (例如1mA) 的乘积超出了所要求的电压测量灵敏度。

输入偏置电流.由于内部的仪器电路和偏置电压的存在，仪器输入端所流过的电流。

输入阻抗.在输入端子处测量到的旁路电阻和电容 (或者电感)，不包括输入偏置或者失调电压。

输入失调电流.必须输入一个差分仪器的输入测量端子、以使得输出读数为零的两路输入电流间的差值 (零输入电压和零偏置电压)。有时也被非正式地用于称谓输入偏置电流。

输入失调电压. 为了将输出指示降低为零而必须直接在输入测量端子之间施加的电压，其偏置电流由一个电阻通路来提供。

输入电阻. 输入阻抗的电阻分量

绝缘电阻.绝缘层的欧姆电阻。绝缘电阻随着湿度的增加而迅速降低。

噪声. 电阻中电荷载流子的热运动所引入的噪声。具有白噪声频谱，由温度、带宽和电阻值所决定。

漏电流.施加电压时流过 (漏电) 绝缘电阻的误差电流。即使在低电流导体和附近的电压源之间存在的高电阻的通路也可以产生显著的漏电流。

长期精度. 在90天或者更长的时间段中误差无法超过的极限。它可以表示为读数 (或者信号源量值) 的一定百分比，外加在特定温度范围内的一系列计数。

所容许的最大输入. 在不造成仪器损伤的前提下，在高低输入测量端子间可以施加的最大的DC外加AC峰值 (电压或者电流)。

MEMS. 微机电系统。用于描述一类尺寸为微米量级、可以对激励作出响应或者产生物理力 (传感器和执行器) 的系统。它们一般是利用与硅基IC制造工艺相同的光刻技术来制造的。

微欧计.一种针对低电阻测量而优化的欧姆计。典型的微欧计使用4端测量方法，具有可保证弱信号下的测量精度的特殊功能。

分子电子学. 任何由具有原子级精度和纳米级尺寸的电子器件所构成的系统，特别是当它由分立的分子部件而非当前半导体器件中的连续材料所构成时。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

名词解释

分子操纵器. 一种具有近距探针机构、可以以原子级精度进行定位的器件，其探针针尖上有分子结合点位；可以作为一种通过位置合成来构建复杂结构的基础。

分子制造. 利用分子机械进行的制造，可以借助定位式的化学合成机制对产物和副产物进行逐个分子式的控制。

分子纳米技术. 基于对产物和副产物进行的逐个分子式的控制，从而对物质的结构进行彻底、廉价的控制；亦指分子制造的产物、工艺，包括分子机器。

MOSFET. 金属氧化物场效应晶体管。一种输入电阻极高的单极型器件。

NANO—. 一个词头，意味着十亿分之一。

纳米电子学. 纳米尺度上的电子学。包括分子电子学和类似于目前的半导体器件的纳米尺度器件。

纳米技术. 用原子级或者分子级精度进行的器件制造。纳米技术的产物是最小特性尺寸小于100纳米（nm）的器件。纳米[一米的十亿分之一（10–9m）]是描述单个分子大小的最恰当的长度单位。

纳伏计. 可以提供纳伏级灵敏度、经过专门优化的电压计（一般采用低热电EMF连接，具有偏移补偿等）。

噪声. 叠加到所需信号上的任何有害信号。

差模抑制比. 仪器抑制施加到各输入端之间的干扰信号的能力。常常用特定频率下的分贝数来表述，例如AC电源频率。

差模电压. 仪器的高电平（HIGH）和低电平（LOW）输入段之间所施加的电压。

失调电流. 即使未施加信号，电路也会产生的电流。失调电流是由于电路中的摩擦生电、压电或者电化学效应所引起的。

过载保护. 保护仪器不至于受到输入端处过高的电流或者电压影响的电路。

皮安计. 一种专门针对小电流的精密测量进行优化的电流计。一般是一种反馈式的电流计。

压电效应. 当某些绝缘体承受机械应力时产生电流的现象。

精密度. 指测量中的不确定性的自由度。往往用于指可重复性和可重现性，不应与精度混用。也参见不确定度

量子点. 一种可以局限单个电子（或者少量几个电子）的

纳米观物体（往往是半导体岛），其中电子只能占据分离的能态，正如它们在原子中那样。量子点也被称为“人工原子”。

随机误差. 大量受到随机误差影响的测量值的平均值与真值一致。也参见系统误差。

量程. 可以测量或者输出的连续的一条信号值。在双极型仪器中，量程包括正值和负值。

读数. 代表输入信号特性的显示数值。

读取频率. 读数刷新的频率。读取频率是读数间时间间隔的倒数。

相对精度. 测量仪器相对于一个二级标准的精度。也参见绝对精度。

可重复性. 在相同条件下进行的连续测量所获取的结果间的一致性。

可复现性. 在测量条件发生指定的变化时对相同量进行的多次测量的结果之间的接近程度。

分辨率. 可以测量到（或者输出）并显示的输入（或者输出）信号的最小的部分。

响应时间. 对于测量仪器而言，是指施加阶跃输入信号并在额定的精度范围内指示其幅值的时间。对于一个输出信号的仪器，是指编程设定一个变化至输出端处获得其量值的时间间隔。也称为**稳定时间**。

上升时间. 信号从其峰–峰值的较低百分比上升至较大百分比（往往是90%）时的时间。也参见**下降时间**。

灵敏度. 可以测量和显示的最小量值。

稳定时间. 对于测量仪器而言，是指施加阶跃输入信号并获得其在额定精度范围内的幅值指示的时间间隔。对于一个信号源仪器而言，是指编程设定一个变化后至输出端处获得其量值的时间间隔。也称为响应时间。

屏蔽. 待测电路周围的金属外罩，或者包绕线状导体（共轴或者3轴电缆）的金属衬套，用以降低干扰、互作用或者漏电。屏蔽往往接地或者与输入LO连接。

旁路电流计. 通过旁路电阻将输入电流变换为电压信号从而测量电流信号的一种电流计。与反馈电流计相比，旁路电流计的电压负荷较高，而灵敏度较低。

旁路电容负载. 横跨输入端的电容（如电缆或者夹具）对测量的影响。旁路电容将使得上升时间和稳定时间延长。

短期精度. 在指定的短时间（如24小时）内连续工作时，误差不至于超过的特定极限。除非特别规定，不容许进行任何形式的归零或者调整。它可以表述为读数（或者信号源）的百分比外加在规定温度范围内的大量计数。

单电子晶体管. 利用受控的电子隧道效应来放大电流的一种开关器件。SET由两个隧道结构成，它们共享一个电极。隧道结由两片金属及金属间放置的极薄（1nm）的绝缘体构成。电子从一个电极运动到另一个电极的唯一路径是通过绝缘体的隧穿效应。隧穿效应是分立的过程，因此流过隧道结的电荷的电量是单个电子电量e的整数倍。

信号源阻抗. 信号源呈现在一个测量仪器的输入端的电阻和感性或容性电抗的组合。

信号源–测量仪一体单元（SMU）. 一种可以输出DC电压和电流信号并进行测量的电子仪器。一般说来，SMU有两种工作模式：输出电压信号而测量电流信号，或者输出电流信号而测量电压性能。也称为信号源–监测器一体单元或者激励源–测量仪一体单元。

信号源–测量仪. 信号源–测量仪型仪器在很多方面非常类似于信号源–测量仪一体单元，包括其能同时输出电流和电压并执行扫描的能力。此外，信号源–测量仪一体化仪器可以直接将测量结果以电阻值、电压和电流等形式显示。它是针对通用型、高速化的生产测试应用而设计的。它还可以用作中等到弱信号测量的信号源，也可以用于研究型应用。

源电阻. 信号源阻抗的电阻分量。也参见THEVENIN等效电路。

自旋电子学. 以某种方式利用电子的自旋特性而非仅仅利用其电荷的电子学。

标准电池. 在实验室中用作电压基准的化学原电池。

超导体. 具有零电阻的导体。这些材料往往仅在非常低的温度下变为超导态。

开关卡. 附带多个独立的和隔离的继电器的板卡，用于切换每个通道的输入和输出。

开关主机. 一种开关型仪器，可以在信号源、测量仪器和待测器件间连通信号。主机也指扫描仪、复用器、矩阵或者可编程的开关。

系统误差. 在系统误差影响下进行的大量测量，其结果的平均值偏离真值。也参见随机误差。

温度系数. 衡量读数（或者信号源输出量值）随着温度变化而变化的程度。它表示为读数（或者信号源输出量值）的百分比，外加对应每摄氏度的温度变化内的计数的多少。

电阻温度系数. 每单位温度变化所对应的材料或者器件电阻的变化，往往以PPM/°C为单位表示。

热电EMF. 测量电路内部的温度差所造成的电压，或者不同材料导体连接到一起时造成的电压。

THEVENIN等效电路.用于简化复杂的双端线性网络的分析而提出的电路模型。THEVENIN等效电压是开路电压，THEVENIN等效电阻则等于开路电压除以短路电流。

传输精度. 在有限温度范围内对两个近乎相等的测量值的比较。它以PPM为单位。也参见相对精度、短期精度。

摩擦生电效应. 导体和绝缘体间的摩擦产生的电荷所导致的电流现象。

触发. 能够启动一项或者更多仪器功能的外部激励。可以用作触发的激励包括：输入信号、前面板、外部触发脉冲和IEEE–488总线X、交谈和GET触发信号等。

两端电阻测量. 过同一组测试导线输出电流信号并敏感电压输出的测量方式。

不确定度. 对测量中可能的误差进行的估计；换言之，偏离其真值的程度的估计值。

VAN DER PAUW测量. 用于测量任意形状样品的电阻率的测量技术。

电压负荷. 电流计的输入端子两端的电压降。

电压系数. 施加电压时电阻值的变化。往往以百分比/V或者PPM/V。

暖机时间. 仪器通电至仪器在基准条件下达到额定精度的时间。

零位偏移. 当测量仪器的输入端短路（电压计）或者开路（电流计）时出现的测量读数。

前言.....	2
弱电流测量	
测量电路.....	2
漏电流和防护.....	3
噪声和源电阻.....	3
零位漂移.....	4
电流发生.....	4
过载保护.....	6
干扰和衰减.....	6
如何使用电量计来测量弱电流.....	7
高电阻测量	
恒电压方法.....	8
恒电流方法.....	8
防护.....	9
稳定时间.....	10
弱电流测量应用: 雪崩光电二极管反向偏置电流测量	11
高电阻应用: 高欧姆值电阻的电压系数测试.....	12
选用指南.....	13
名词解释.....	14

请将您关于应用或者产品的问题告诉我们。

Contact us by phone, fax, mail, or email:

KEITHLEY CORPORATE HEADQUARTERS

Keithley Instruments, Inc.
28775 Aurora Road
Cleveland, Ohio 44139

Phone: 440-248-0400

Toll-free: 800-552-1115

Fax: 440-248-6168

info@keithley.com

Consult with a Keithley applications engineer and learn how to get the most from your Keithley products.

WORLDWIDE HEADQUARTERS

Within the USA: 1-888-534-8453

Outside the USA: + 1-440-248-0400

Email: applications@keithley.com

Additional contact information at www.keithley.com

EUROPE

Germany: (+49) 89 849 307 40

Great Britain: (+44) 118 929 7500

ASIA

China: (+86) 10 8447 5556

Japan: (+81) 3 5733 7555

Korea: (+82) 2 574 7778

Taiwan: (+886) 3 572 9077



Specifications are subject to change without notice.
All Keithley trademarks and trade names are the property of Keithley Instruments, Inc.
All other trademarks and trade names are the property of their respective companies.

A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

KEITHLEY

KEITHLEY INSTRUMENTS, INC. ■ 28775 AURORA RD. ■ CLEVELAND, OH 44139-1891 ■ 440-248-0400 ■ Fax: 440-248-6168 ■ 1-888-KEITHLEY ■ www.keithley.com

BELGIUM

Sint-Pieters-Leeuw
Ph: 02-3630040
Fax: 02-3630064
info@keithley.nl
www.keithley.nl

CHINA

Beijing
Ph: 86-10-8447-5556
Fax: 86-10-8225-5018
china@keithley.com
www.keithley.com.cn

FRANCE

Saint-Aubin
Ph: 01-64532020
Fax: 01-60117726
info@keithley.fr
www.keithley.fr

GERMANY

Germering
Ph: 089-84930740
Fax: 089-84930734
info@keithley.de
www.keithley.de

INDIA

Bangalore
Ph: 080-26771071, -72, -73
Fax: 080-26771076
support_india@keithley.com
www.keithley.com

ITALY

Peschiera Borromeo (Mi)
Ph: 02-5538421
Fax: 02-55384228
info@keithley.it
www.keithley.it

JAPAN

Tokyo
Ph: 81-3-5733-7555
Fax: 81-3-5733-7556
info.jp@keithley.com
www.keithley.jp

KOREA

Seoul
Ph: 82-2-574-7778
Fax: 82-2-574-7838
keithley@keithley.co.kr
www.keithley.co.kr

MALAYSIA

Penang
Ph: 60-4-643-9679
Fax: 60-4-643-3794
sea@keithley.com
www.keithley.com

NETHERLANDS

Gorinchem
Ph: 0183-635333
Fax: 0183-630821
info@keithley.nl
www.keithley.nl

SINGAPORE

Singapore
Ph: 65-6747-9077
Fax: 65-6747-2991
sea@keithley.com
www.keithley.com

SWITZERLAND

Zürich
Ph: 044-8219444
Fax: 044-8203081
info@keithley.ch
www.keithley.ch

TAIWAN

Hsinchu
Ph: 886-3-572-9077
Fax: 886-3-572-9031
info_tw@keithley.com
www.keithley.com.tw

UNITED KINGDOM

Theale
Ph: 0118-9297500
Fax: 0118-9297519
info@keithley.co.uk
www.keithley.co.uk