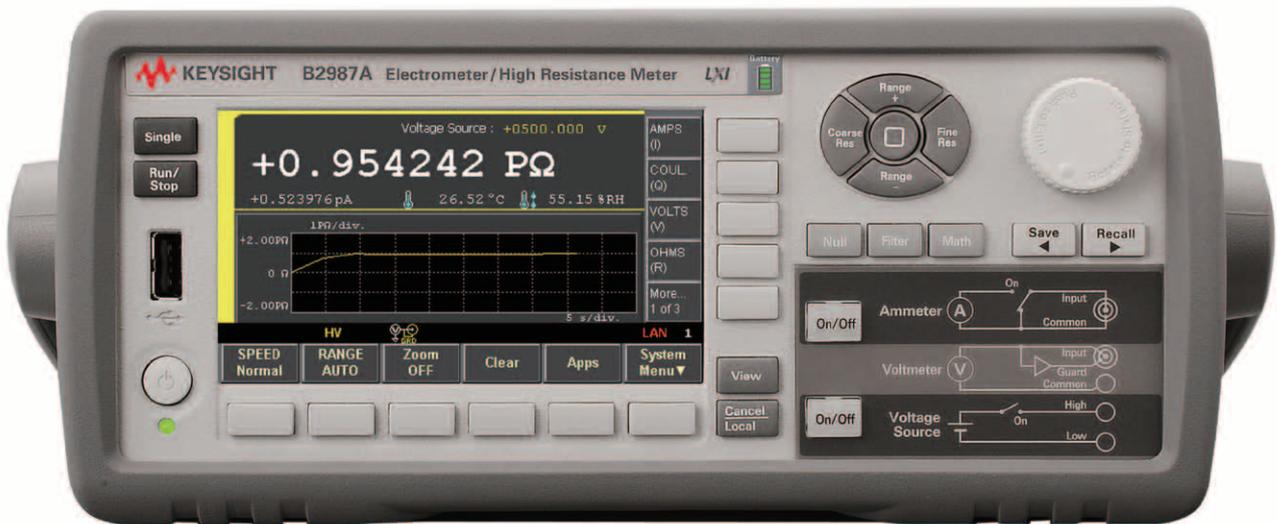


## 是德科技

# 使用 B2985A/87A 执行可靠的 高电阻测量 静电计/高阻计

## 技术概述



# 引言

以前，工程师在执行高电阻和电阻率测量时，必须对测量专业技术非常熟悉才能获得准确的测量结果。因为超低电流测量极易受到各种环境因素的影响。造成误差的来源通常有：泄漏电流、放电电流或吸收电流、测试设备接地/浮置问题，以及测试设备物理结构所产生的环境噪声等等。

是德科技静电计/高阻计(B2985A/B2987A)可以提供出色的 10 aA (0.01 fA) 最小电流分辨率、10 PΩ (10<sup>16</sup> Ω) 电阻测量功能，及其他许多功能特性，例如直方图和趋势图视图、直观的测量导航，因此能够显著增强用户的测量信心。

直方图和趋势图(滚动视图)视图可以快速显示测量状态的概况，使您能够立即确定测试问题。测量导航助手可以帮助您正确设置测量参数，即使您原来根本不熟悉设置步骤也不用担心。

本技术概述讲解了 B2985A/87A 如何帮助您轻松、精确地执行高电阻测量。

注: B2987A 内置充电电池，因此不用连接交流电源也能使用。

## Keysight B2985A/87A 测量资源

图 1 显示了 B2985A/87A 测量资源的原理图，其中包括一个电压源 (Vs)、一个电流表和一个电压表。默认情况下，B2985A/87A 在开机时，电流表和电压表的测量公共端连接到电压源的低侧 (Vs Low)。不过，您可以输入简单的命令，控制内部开关 (Vs 低侧端接开关) 切断 Vs 低侧端子与电路公共端的连接。这意味着电压源 (Vs) 和电流表/电压表资源可以彼此独立地使用。

注: 浮置测量公共端的功能给予仪器更大的灵活性，使其适用于更广泛的应用。

### 本文中使用的术语:

在极小电流中使用的公制前缀:

- 千兆 (P) = 10<sup>15</sup>
- 兆 (T) = 10<sup>12</sup>
- 十亿 (G) = 10<sup>9</sup>
- 兆分之一 (p) = 10<sup>-12</sup>
- 千万亿分之一 (f) = 10<sup>-15</sup>
- 十的十八次方分之一 (a) = 10<sup>-18</sup>

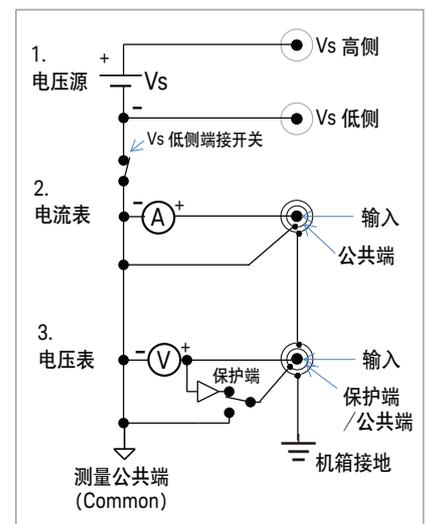


图 1. B2985A/87A 测量资源。

## 高电阻测量基础

### 1. 浮置和接地测量

如图 2 所示，B2985A/87A 有两种高电阻测量配置(浮置和接地)，因此支持测试设备在这两种情况下执行测试。图 2(a) 显示的是被测器件(DUT)浮置，不与大地相连的情况。在这种情况下测量高侧端子与低侧端子之间的电阻。请注意，虽然低侧浮置，但寄生电阻和电容可能提供一条"潜在的接地通路"。此时，在低侧端子上连接一个直流偏置电源，可以解决这个问题。图 2(b) 显示了被测器件接地的情况。由于低侧接地，所以测试电压应用和电流测量必须在被测器件的高侧端子上进行。

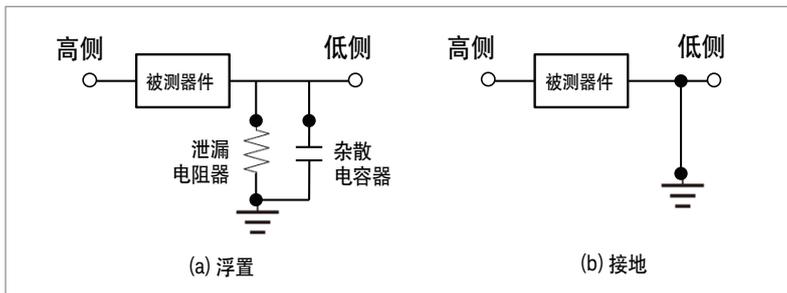


图 2. 浮置和接地测量示例。

图 3 为 B2985A/87A 两种测量模式的简化电路图。

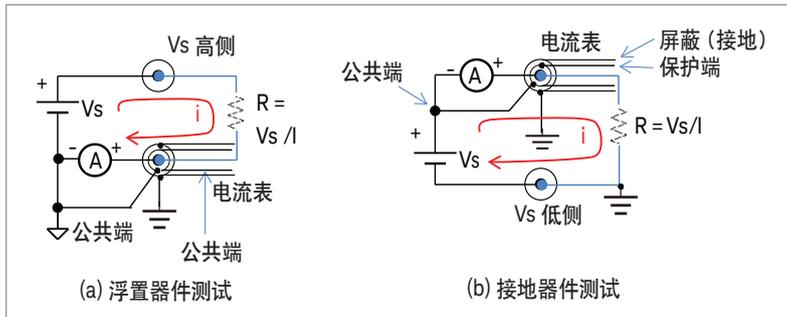


图 3. 高电阻测量模式。

### 浮置器件测量

图 3(a) 显示的是浮置器件测量的电路图。测试设备连接到  $V_s$  高侧输出端和电流表输入端之间。由于电流表要测量极小的电流，并且容易受到噪声的干扰，所以它需要贴近接地电位，以屏蔽测试设备的影响，提高测量结果的准确性。

### 接地器件测量

图 3(b) 显示的是接地器件测量的电路图。在这种配置中，由于器件在一侧接地，所以电流表连接到  $V_s$  正输出端。

图 1 所示的体系结构使 B2985A/87A 很容易实施这两种配置。电流表的输入端是三轴的，内屏蔽起保护作用，而外屏蔽连接到大地。注：虽然最大保护电势为 500V，但只要采取适当的预防措施，测量是安全的。因此，B2985A/87A 的浮置和接地测量配置显然可以用于广泛的高电阻测量应用。

## 2. 测量支持功能和技巧

高电阻测量在许多应用中都至关重要，例如材料表征、元器件测试、成品检测以及设备维护等。可是由于并联电容、泄漏电阻和噪声接收天线元件等寄生元件的存在，许多应用中的测量并不是纯粹的电阻测量。因此，要进行精确的高电阻测量，需要具备一定的专业技术，熟悉如何使用测量仪器的功能特性，以消除这些寄生元件的影响。

下面的章节详细讲述了执行精确高电阻测量所必需的技术。

### 滚动视图和实时直方图有利于噪声数据的分析

许多时候，完全消除测量噪声是不可能的。因此，您必须了解噪声的本质，才能选择有效的解决方案。图 4 显示了 B2985A/87A 的图形显示能力如何显示线路频率噪声干扰。图 4(b) 显示了 B2985A/87A 如何同时显示数值 (仪表视图) 和数据趋势 (滚动视图)。图 4(c) 显示了 B2985A/87A 的直方图视图，该视图可对测量数据执行实时统计分析。

B2985A/87A 提供了两种消除测量信号噪声的方法: 测量速度和滤波。测量速度有四种选择: 快速 (Quick)、正常 (Normal)、稳定 (Stable) 和手动 (Manual)。手动速度设置可由用户定义。

注: 滤波器功能在后面的章节中详细讲授。

图 4(b) 前半部分图形所示的滚动视图数据是使用快速测量设置获得的，数据含有较大的噪声。图 4(b) 后半部分图形所示的数据是使用正常速度测量设置获得的，而数据就比较稳定。图 4(c) 直方图视图显示了图 4(b) 中的两种数据集合对应的分布情况。使用快速设置获得的数据，其直方图分布呈现典型的正弦波特征，表明电源线周期是主要的噪声来源。使用正常速度设置 (在线路频率上积分) 获得的数据，其直方图呈现极高的可重复性，表明正常速度有效地降低了噪声。一旦您知道噪声的来源，便可决定是降低电源上的噪声，还是将噪声从测量数据中滤除。请注意，如果噪声是对称分布的，那么您可以使用直方图数据的平均值。

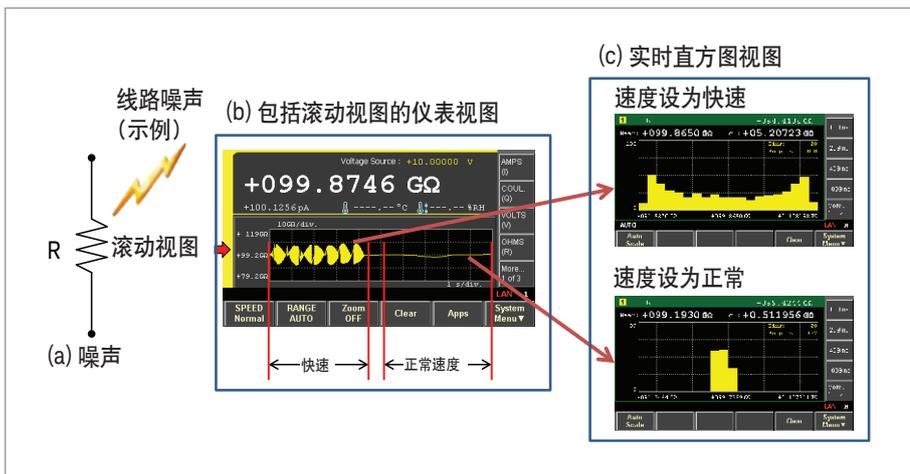


图 4. View (视图) 功能使噪声源分析变得轻而易举。

## X-Y 图可直观地确定数据收敛

图 5 显示了寄生元件的一些示例，这些寄生元件有可能对高电阻测量产生影响。图 5(a) 中，与电阻器并联的杂散电容器会导致收敛至最终电阻值所需要的响应时间增加。图 5(b) 显示了一个绝缘电阻测量示例，其中的电容介电吸收也会增加收敛时间。图 5(c) 显示的是通常与电压有关的高电阻元件。您很难通过在数字显示屏上观察这些变化来确定收敛时间。图 6 显示了 B2985A/87A 的图形视图如何帮助您方便地监测数据收敛。在此示例中，一个 100 G $\Omega$  电阻测量瞬态在施加测试电压后收敛至其最终值。通过用图形显示收敛响应，您很容易观察并确定测量结果达到稳定的时间。电阻值与电压的关系可以用同样的方法测得。



图 6. 图形视图使您可以快速查看并确定电阻收敛时间。

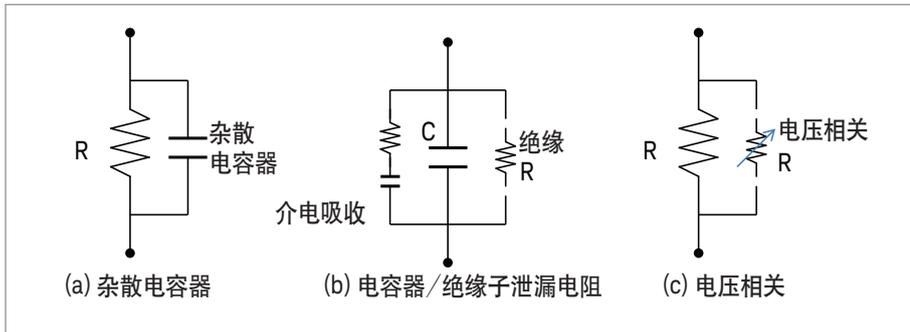


图 5. 在测量高电阻器件时遇到的寄生元件的示例。

## 保护端可以有效消除表面泄漏电流

图 7(a) 显示了表面泄漏电流对超高电阻测量有何影响。如果表面被污染(例如曾经接触过您的手)，那么有可能形成电流泄漏路径，从而影响测量的准确性。不过，如果有图 7(b) 所示的保护端连接，那么表面上的一点可以连接到电流表的保护端，使您可以消除表面泄漏导致的误差。由于保护端电势与中心信号引脚上的电势几乎完全相同，所以电流表输入端与保护端之间的电势可以忽略不计。另外，由于表面泄漏电阻非常大，所以从电流表流到保护端的电流几乎为零。*注：为了进行有效保护，保护端电势必须与电流表输入电压极为接近。B2985A/87A 保证在低电流测量范围内两者相差不超过 20 $\mu$ V。*

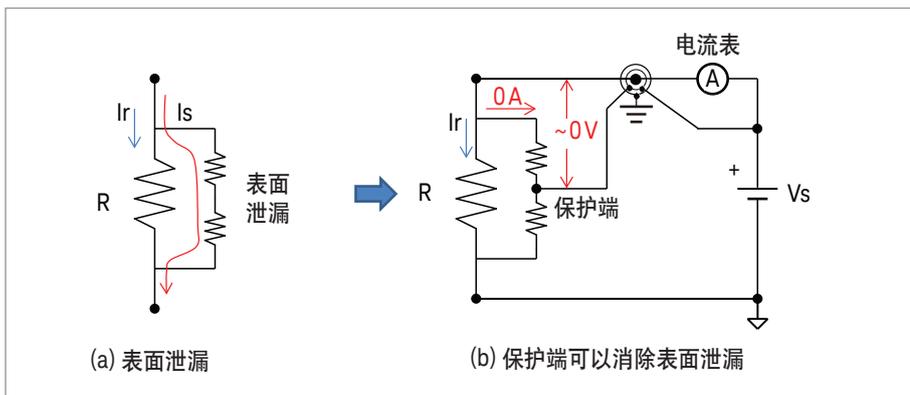


图 7. 高电阻器件等效电路示例。

## 高电阻测量示例

您可以从以下链接下载后面示例中的测试设置：  
[www.keysight.com/ind/SensitiveMeasurements](http://www.keysight.com/ind/SensitiveMeasurements)

### 示例 1. 浮置电阻测量

以下部分介绍如何设置和测量电阻。此例中使用 100 GΩ (1E11 Ω) 的 Keysight N1422A 高值电阻箱。测试装置和测试资源框图见图 8。此例中使用的测量条件如下：

测试电压: 10V

电流范围: 200 pA 范围 (即  $I = V/R = 10/1E11 = 1E-10 = 100 \text{ pA}$ )

注 1: 由于电流测量使用的是自动量程模式, 所以不必指定电流测量范围。

注 2: 如果您的器件接地, 请参见例 2。

按照下面的步骤设置和测量高阻值电阻器。

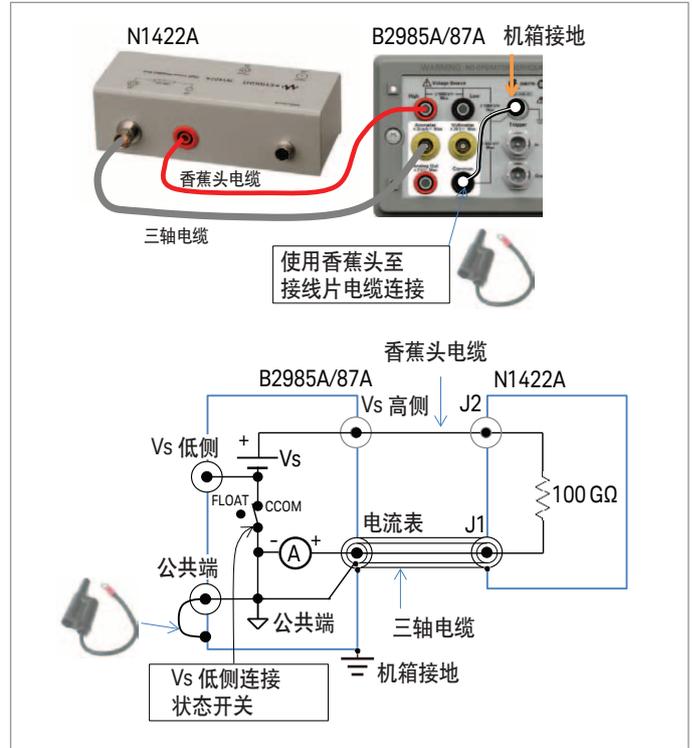
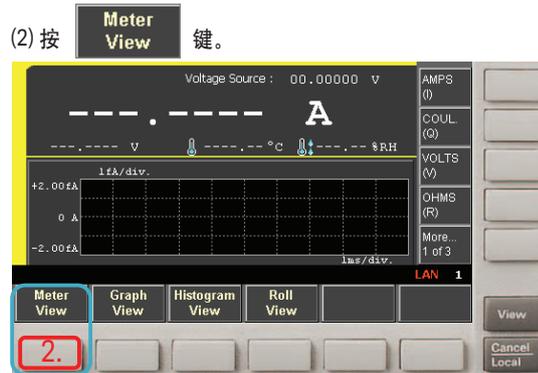


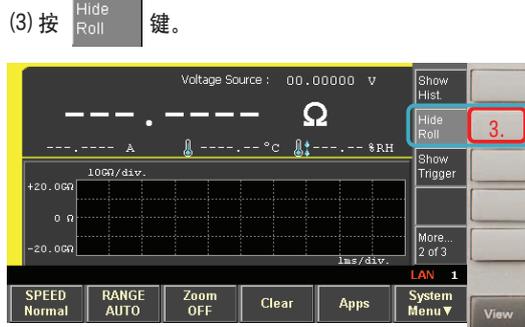
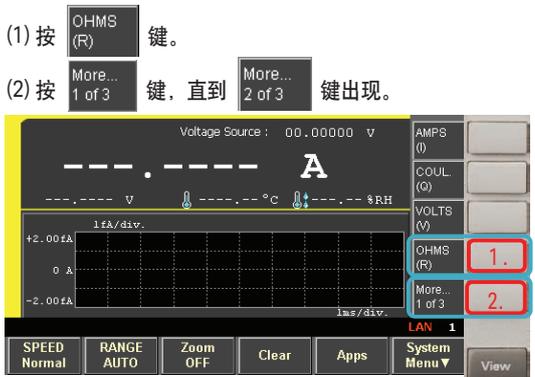
图 8. 高电阻测量的线缆连接和测试资源图(浮置)。

### B2985A/87A 前面板测量操作步骤

1. 按 [View] 键, 显示 View 功能键菜单。然后按 [Meter View] 功能键。



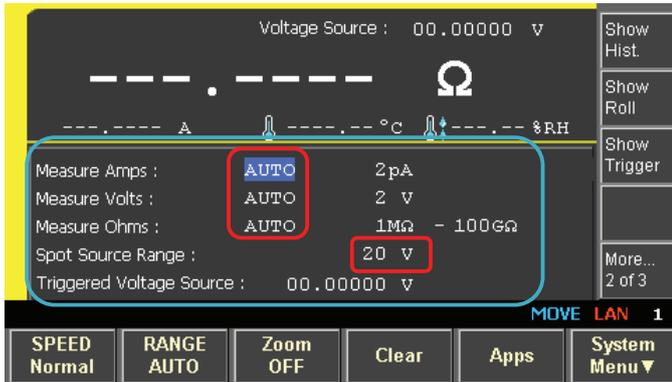
2. 按下并选择 [OHMS (R)] 辅助键, 然后按 [More] 辅助键以显示 [More 2 of 3] 辅助键菜单。按下并选择 [Hide Roll] 辅助键, 关闭仪表视图下半部分显示的滚动视图。



## 高电阻测量示例

### B2985A/87A 前面板测量操作步骤

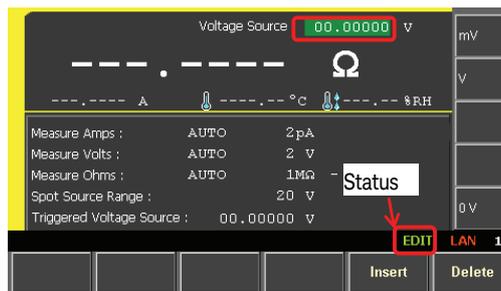
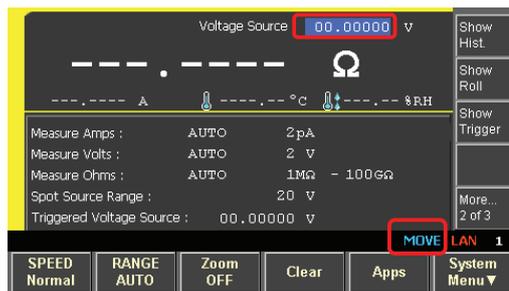
3. 屏幕上显示电阻测量模式的量程设置。确定将量程设置为 AUTO, 并将 Spot Source Range 设为 20V。



4. 旋转 [Knob] 将字段指针移至 Voltage Source 值, 按 [Knob] 编辑电压。Voltage Source 值上的字段指针变成绿色 (EDIT), 状态信息将从 MOVE 变成 EDIT。

旋转  将字段指针移至 Voltage Source 值, 并按下该旋钮编辑电压。

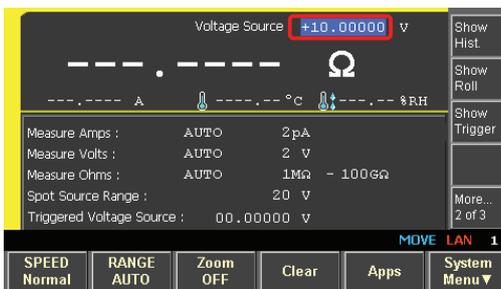
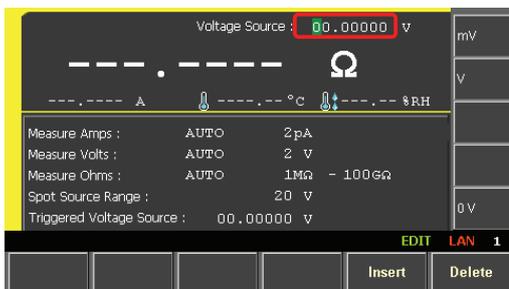
改成 EDIT 模式。



5. 按 [向左] 键将电压位设置为 10V 位置。然后旋转 [Knob] 将电压设为 10V, 按 [Knob] 键固定该电压。

按  键, 并将编辑位移动到 10 V 量程。

旋转  并将电压值设为 10 V, 然后按  固定该电压。

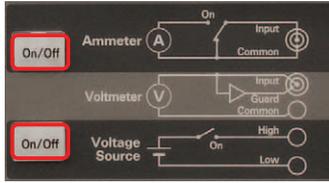


## 高电阻测量示例续

### B2985A/87A 前面板测量操作步骤

6. 按电压源 [On/Off] 键以输出 10 V 电压, 然后按电流表 [On/Off] 键执行测量。

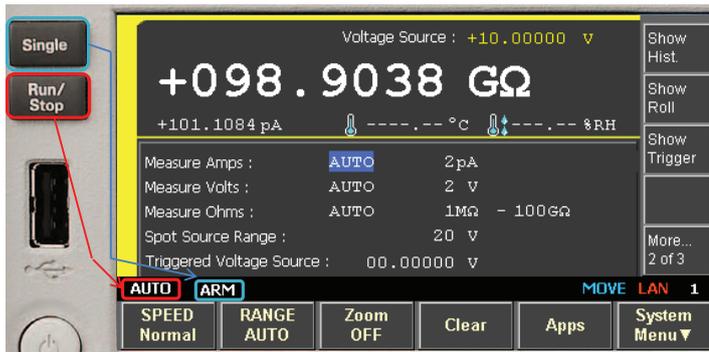
2. 启动电流表



1. 启动电压源



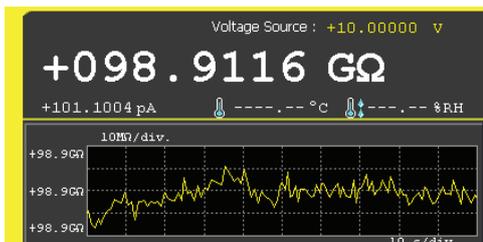
7. 按 [Run/Stop] 键, 开始连续的电阻测量。AUTO 指示标志显示测量是在 AUTO 模式中重复进行。



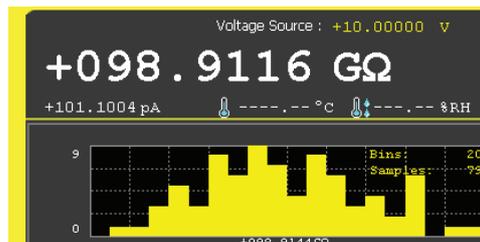
注: 如果您按 [Single] 键, 测量将只进行一次。测量进行当中, 屏幕上显示 "ARM" 指示标志。

8. 如下图所示, 滚动视图和直方图视图可以在仪表视图中显示, 也可以在独立的视图中显示。

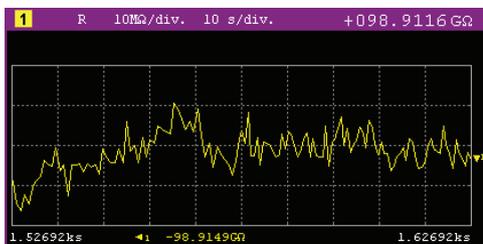
按 **Show Roll** 辅助键在仪表视图下半部分打开滚动视图。



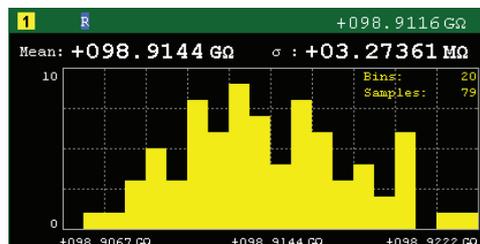
按 **Show Hist.** 辅助键在仪表视图下半部分打开直方图视图。



按 **View** 功能键打开独立的滚动视图。



按 **View** 功能键打开独立的直方图视图。

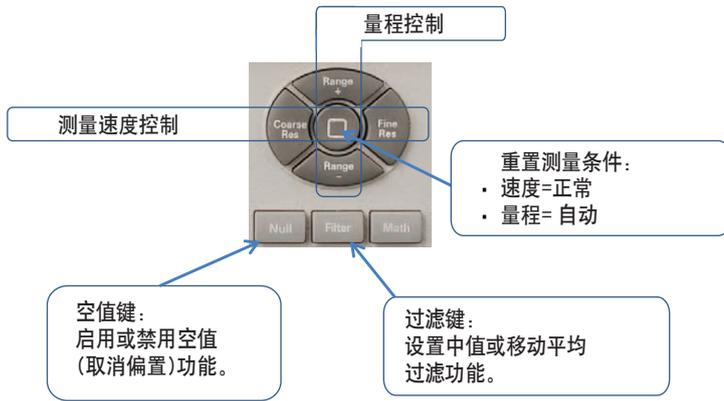


## 高电阻测量示例续

### B2985A/87A 前面板测量操作步骤

9. 您可以使用测量导航键方便快捷地控制测量速度和量程。Null (空值) 键使您可以为其他测量设置基准点。例如, 您可以使用空值功能对比一组电阻器中的电阻变化, 或监测电阻变化幅度。过滤功能可计算测量数据的数字平均值, 使您能够在保持读数稳定的同时实现预期的积分时间和平均时间。

#### 测量导航键控制测试参数



10. 您可以将测量配置和设置保存到内部存储器或外部USB器件中。

下面的例子显示了如何将设置保存到内部存储器中。

- 按 [Save] 键。保存系统弹出菜单, 屏幕上会出现 "选择要保存到的存储器位置"。
- 选择并按下一个功能键位置, 用于保存电流设置。您可以按 [Recall] 键并选择设置, 以调用以前保存的设置。

按 **Save** 键并选择一个存储键, 以保存设置。



## 例 2. 接地电阻测量

图9显示了接地测量的配置。电流表连接到此配置的电压源, 电压源低侧和电流表低侧 (公共端) 之间的内部开关连接必须开路。电压源低侧和机箱接地之间使用图中所示的香蕉头至接线片电缆连接。下面的步骤说明了如何配置接地测量。

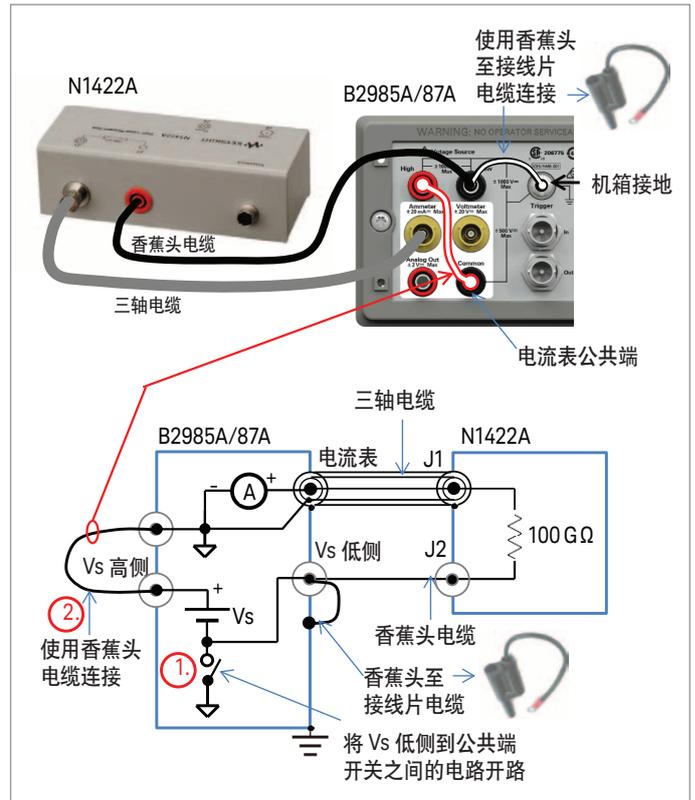
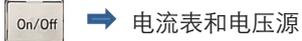


图9. 高电阻测量装置 (接地)。

## 高电阻测量示例续

断开 Vs 低侧与电流表低侧之间的连接。(参见图 9)

第 1 步. 按 [On/Off] 键关闭电流表输入和电压源输出。



第 2 步. 重复按 [View] 键, 直到功能键中显示 [System Menu] 功能键。



第 3 步. 按 [System Menu] 键, 然后按 [Conig] 功能键。



第 4 步. 按 [Source] 键。



第 5 步. 按 [Connection ...] 键。

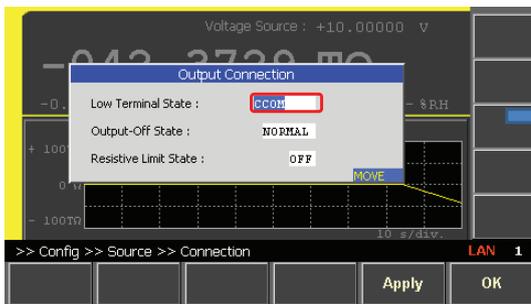


第 6 步. Output Connection 输入面板显示。(第 6 步到第 8 步见图 10。) 选择旋钮, 将光标移动到显示 "Low Terminal State" 的输入字段。

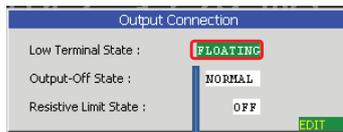
7. 按下旋钮, 将输入字段变成绿色的 EDIT 模式。 将 Low Terminal State 改成 "Floating"。

8. 按 [Apply] 键, 然后按 OK 键。 Vs 低侧随后被设置为浮置状态, 且与电流表公共端断开连接。

第 6 步



第 7 步



第 8 步



图 10. 将 Vs 低侧设置为浮置状态的步骤

## 高电阻测量示例续

9. 要测量高电阻, 重复执行例 1 中列出的步骤。

如果您已经根据例 1 设置好仪器, 那么按 [ON/Off] 键, 再按 [Run/Stop] 键, 将电流表和电压源设置为 ON 状态。图 11 显示了接地测量的示例数据。请注意, 由于来自电流表输入端的电流沿负方向传输, 所以电阻值显示为负值。这表示测量是在接地模式下进行。

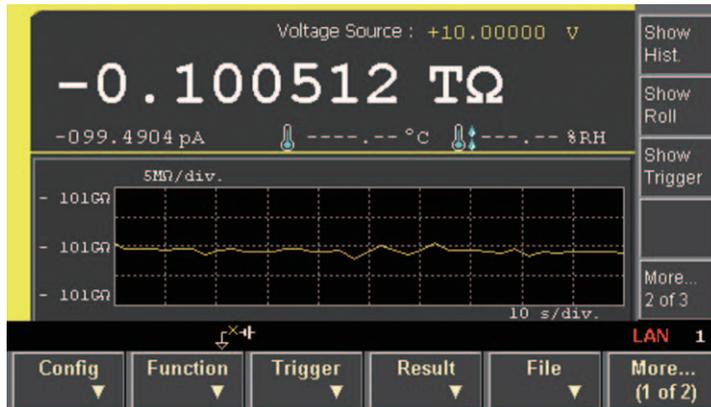


图 11. 接地高电阻测试示例。

## 高电阻测试附件

如果您经常需要在浮置和接地高电阻测量之间来回切换, 那么 N1414A 高电阻测量通用适配器(图 12)可以为您提供很大的方便。您只需按下 N1414A 上的一个按钮, 便可在浮置模式和接地模式之间轻松切换, 无需像图 9 所示改变配置。



## 结论

Keysight B2985A/B2987A 静电计/高阻计可测量高达  $10 \text{ P}\Omega$  ( $10^{16}$ ) 的电阻, 测量目标可以是接地和浮置配置的各种器件、元件和材料。它还具有电流表保护功能。直方图和滚动视图, 加上时间采样的 X-Y 图形视图, 能够实时显示当前正在进行的测量的重要信息。

空值和过滤功能不仅可以使测量变得更方便, 而且极大增加了在高电阻测量应用中的适用范围。此外, 测量导航功能极大方便了测试的执行操作。Keysight B2985A/2987A 静电计/高阻计使"难以设置且测量结果不确定的"高电阻测量变得"容易设置, 而且测试结果非常可靠"。