

# 使您的参考级数字多用表发挥最大的作用， 使测量的不确定度变得最小

## 应用文章

### 引言

现代的精密数字多用表是一种复杂的测量仪器，它所提供的测量能力远不仅限于测量电压、电流和电阻。不久前的，福禄克公司开发了一种新型的精密数字多用表—8508A 参考级数字多用表，它具有计量等级的仪器的准确度和稳定性，能够达到用来校准这类数字多用表时使用的计量标准器所具有的测量水平。这样高的性能使得这款数字多用表能够用来代替很多传统的实验室仪器，诸如，开尔文—瓦利 (Kelvin-Varley) 分压器、检零计、电阻电桥，甚至铂电阻温度计 (PRT) 校准器。这种计量等级的数字多用表不仅能够提供足够的精确度，而且与传统的技术相比较它还在可用性和产出率方面做出了重大的改进——这一点对于在当今的经济氛围之下，面对着要满足种种技术和商业目标的各种类型的校准实验室来说是极其重要的。仪器设计师们一方面极为关注使仪器的功能达到其最大限度，而同时又要保证使仪器易于使用。然而，这些能够提供丰富功能的复杂的仪器在用户看来很可能是比较复杂的。这篇应用文章简明地向您解释如何使用福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的各种性能特性，使其在您的实验室中发挥最大的作用。



### 精密数字多用表的结构

从原理上说，一台参考级数字多用表和一块简单的手持式数字多用表没有什么区别。其方框图示于图 1。图中的关键单元是模拟—数字转换器 (adc)，它决定了仪器获取一个电信号并给出其数值的表示值的基本能力。一种仪器设计与另一种仪器设计相比，其噪声性能、稳定性、线性度、度盘长度、分辨力和速度等指标可能有很大的区别。计量参考级数字多用表使用一种积分型的模拟—数字转换器，输入信号在积分

器电路中按照电荷平衡的原理与一个内部的电压基准进行比较。这样就可以在  $2 \times 10^8$  个字的度盘长度上实现高达 8 位半的分辨率，其线性度可优于满度的 0.1 ppm。在直流电压测量时，输入信号在送往模拟—数字转换器进行转换之前，由直流前置放大器单元中的衰减器和低噪声放大器进行幅度定标调节。在直流前置放大器输出端有一个可以由用户接通或者断开的低通滤波器，接通此低通滤波器可以滤除在输入信号中可能出现的不希望有的交流信号。

对于交流电压测量来说，输入信号经过另一个也带有幅度定标调节的通道。该通道使用一个有效值—直流转换器来产生代表输入信号的有效值的直流信号，然后再由模拟—数字转换器对该直流信号进行测量。在进行电流测量时，电流转换器电路使用分流器来产生与输入电流成正比的电压，然后再由直流或交流电压测量子系统对该电压进行测量。使用恰当的设计技术，可以把测量电流时在数字多用表输入端出现的输入负载电压与数字多用表内部分流器上产生的电压很好地隔离起来，从而减小了该负载电压对于被测电流源的影响。电阻测量能力是由数字多用表中的内部电流源来实现的。该电流源产生一系列稳定的恒定电流，再与各种不同的电压测量量程相配合，这样简单地使用欧姆定律就能够测量出电阻的数值。在福禄克公司新型的 8508A 参考级数字多用表中，电阻测量功能的量程已经扩展到从满度 2Ω 到满度 20GΩ。该仪器的输入切换设计技术使得这款参考级数字多用表具有两套输入端子，一套位于仪器的前面板，另一套位于仪器的后面板。这两套输入端子都能够达到满 1000V 有效值的额定输入能力。由于有了两个输入通道，所以在电压测量和电阻测量功能下都可以很容易地进行比率测量。

## 模拟—数字转换器的操作——选择适合测量工作的配置方式

多斜式、积分型模拟—数字转换器能够实现极高的分辨力，而其线性度可优于满度的 0.1 ppm。然而，高分辨力只能在比较长的积分时间之下才能达到。除了要在转换速度和分辨力之间进行折中之外，积分时间的选择还直接影响到仪器的噪声抑制能力。积分原理本身能够有效地对被测信号中的任何交流或者噪声成分进行平均，从而减小了仪器显示读数的变化。积分原理还能够抑制被测量的输入信号中出现的我们不希望的电源频率的干扰信号。这些与输入信号相串联而出现的我们不希望的干扰信号通常称为串模噪声。如果积分时间等于电源信号周期的严格的整数倍，那么我们不希望的电源频率干扰信号就被积分成为零。在 8508A 数字多用表中，用户可以选择分辨力，也可以在“常规”和“快速”模拟—数字转换模式之间进行选择，这样就有效地决定了积分时间。由于模拟—数字转换器的积分时间与电源频率有关，所以用户必须确保 8508A 参考级数字多用表要按照其所使用的供电电源的频率正确地进行配置。这项设置通常是在制造厂中完成的，但是也可以由用户来进行设置。

在直流电压测量功能下，在 50 Hz 和 60 Hz 电源供电工作时，5 位半“快速”模拟—数字转换模

式的积分时间为 3.3 ms。而对于所有其它的分辨力和模拟—数字转换器“常规”/“快速”模式选择组合的情况，其积分时间则是供电电源信号周期的整倍数。如果用户按照电源频率对此参考级数字多用表进行了正确的配置，那么在除 5 位半“快速”模式外的所有的工作模式之下，模拟—数字转换器将会对与电源有关的干扰信号进行抑制。在电源频率整倍数的频率下，通常可以达到高达 80 dB 的抑制能力。如果未能设置正确的电源频率，那么当存在串模电源干扰的情况下，将会导致非常强的噪声干扰的测量读数。

选择较高分辨力的测量模式就意味着选择了较长的积分时间，这样模拟—数字转换器的积分器就会在更长的时间内对信号进行“平均”。其结果除了获得较高的分辨力之外，读数与读数之间的波动（噪声）将会更低，有效带宽也会更窄。在较高分辨力的情况下，信号在多个模拟—数字转换器周期中进行数字平均，以得到单个的显示读数。用户还可以使用 8508A 参考级数字多用表的数学运算功能来对多个读数进行数字平均，这就为用户提供了一种灵活性，以便其在有效噪声带宽和测量时间之间进行折中。在实际工作中，最适合的模式的选择取决于具体的应用情况、所要求的分辨力和信号的特性。对于大多数的校准工作应用场合来说，7 位半“快速”模式是比较合适的。这样，在 50Hz 电源频率之下，仪器将以 1280 ms 的转换时间来产生测量读数（对 60Hz 的情况，转换时间则为 1067 ms）。应当注意的是，当 8508A 参考级数字多用表在内部触发模式下自由运行时，其有效的读数速率可能不象预期的那样快，尤其是不象仅仅考虑转换时间而计算出来的预期的速率那样快。这是因为模拟—数字转换器是由一个频率大约为 2Hz 的内部时钟来触发的缘故。

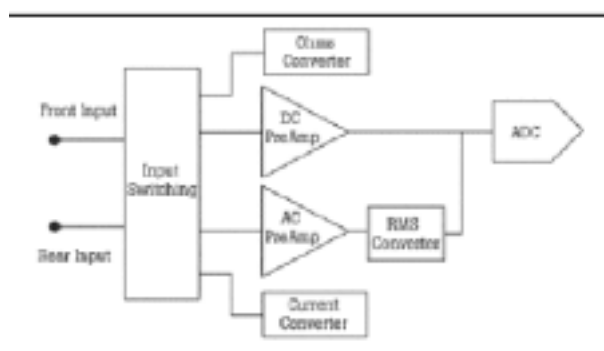


图1 简化的数字多用表方框图

要想达到更快的读数速率则需要使用外部的硬件触发信号，或者通过 IEEE488 远动接口来进行触发。这种方法同样可以应用于使用电阻功能的测量工作中，因为电阻功能是使用直流电压测量子系统来进行测量的。

## 实际的直流测量应用工作

典型的计量学应用工作包括对电压标准器进行比较和进行电压比率的测量。在比较电压标准器的情况，比较工作通常是在电平标称值相同的两个或者多个电压之间进行的，例如使用微伏计或者检零计对两个或者多个 1V 电压标准进行比较。假定微伏计或者检零计的灵敏度足够高，而这两个参考电压标准之间的电压差小于 10mV，那么这种简单的检测器能够给出很好的结果，能够分辨出低至 200 nV 的电压差 (1V 的 0.2 ppm)。然而，如果这些电压标准的电压值比较分散，则其电压差可能大到毫伏的量级。在这种情况下，由于其度盘长度和分辨力的基本的限制，一个典型的微伏计在其 1mV 量程上将只能分辨出 20mV。一台参考级数字多用表在其 200mV 量程上能够分辨出 10nV。即使受到噪声的限制，参考级数字多用表仍然能够测量两个相差超过 100mV 的电压标准，并且可以分辨到 10nV。现在以齐纳管为基础的电子式参考电压标

准获得了广泛的应用，其输出电压通常为 10V、1V、和 1.018 V。要对不同电压值的输出进行比较则需要了解电压比率的概念。为了进行此类测量工作通常需要使用高精度的分压器。用 (经过校准的) 分压器将一个已知的 10V 电平的电压按确定的分压比进行分压，然后使用一个微伏计将分压得到的电压与 1 V 或 1.018 V 电平的标准电压进行比较。该分压器在所有需要的分压比时的特性都必须为已知，调节分压器以便在微伏计上获得检零状态从而完成测量工作。参考级数字多用表可以代替上述这些仪器，并简化测量工作。图 2 示出在 10V 电平上对两个电压标准进行比较的基本方法—对于 1 V 或 1.018 V 的情况，其连接方法非常类似。注意，这个方法和前面介绍的用微伏计对直流电压标准进行比较的方法是很类似的。只是现在参考级数字多用表 (而不是微伏计) 可以测量出两个电压标准装置之间的比较大的电压差值，而不会牺牲测量的分辨力。如果参考级数字多用表对地的隔离程度不会使任何一个电压参考标准的输出负载加重，而且在使用之前对该参考级数字多用表进行了消零操作以便消除该数字多用表及其连接引线上的任何残留的电压偏移量，那么这种测量方法就不会有什么大的问题。图中所示的方法是一种

电位差计式的或者差分式的测量方法。参考级数字多用表是用来测量两个电压参考标准之间的电压差值。

## 比率模式和后面板输入

8508A 参考级数字多用表具有两个输入通道，它们能够自动地进行切换来完成比率测量工作。在比率模式下，8508A 显示这两路输入之比率，其显示的形式可以是 F-R (前面板读数减去后面板读数)、F/R (前面板读数相当于后面板读数的百分数)、或者 (F-R)/R (前面板、后面板读数之差相当于后面板读数的百分数)。在这些比率形式中最常用的是 F/R，即前面板读数相当于后面板读数的百分数。例如，在这种模式下，如果将 10V 电压连接到后面板输入通道 (参考值)，而将 1V 电压连接到前面板输入通道，那么仪器的显示值将会为 +10.000 000%。这个数值是未知的 1V 电压对于已知的 10V 参考电压的比率值。注意，此参考级数字多用表测量的是每个通道的全部电压，仪器配置成单一量程 (20V) 状态。这种测量的误差仅仅来源于 10V 参考标准电压的不确定度、参考级数字电压表的噪声和差分线性度、以及 1V UUT 标准电压的噪声。参考级数字多用表的典型噪声小于峰峰值 50nV (在 7 位半正常模式和 8 位半快速模拟数字转换模式之下)，在 8 位半模式之下、10:1 比率时参考级数字多用表的差分线性度优于满度的 0.1ppm。这些指标数值和技术熟练的计量学家使用刚刚校准过的分压器和微伏计所获得的指标数值类似。

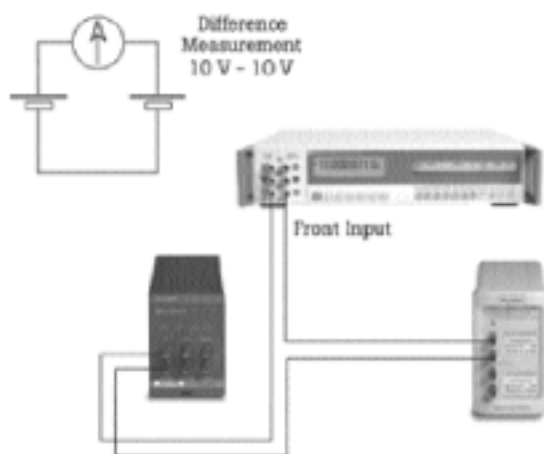


图2 在 10V 电平上对两个电压标准进行比较的基本方法

参考级数字多用表能够连续地进行这种测量工作，其线性度不会随着时间发生很大的变化，所以这种测量的设置成本比较低、测量过程是自动化的而且花费的时间比较少。图3表明在比率模式之下、如何使用同样的多输入通道利用参考级数字多用表来测量每个参考电压的全电压。在通常的环境条件下，要想确认参考级数字多用表的线性度优于0.1 ppm的水平是比较困难的。然而，现在已经依据 10V 的约瑟夫逊阵列标准对若干台仪器进行了评估。在这种测量工作中，可以使约瑟夫逊阵列标准系统产生一系列的 1V 与 10V 之间的电压，其不确定度至少比大多数最精密的或者参考级的数字多用表的线性度要高一个数量级。

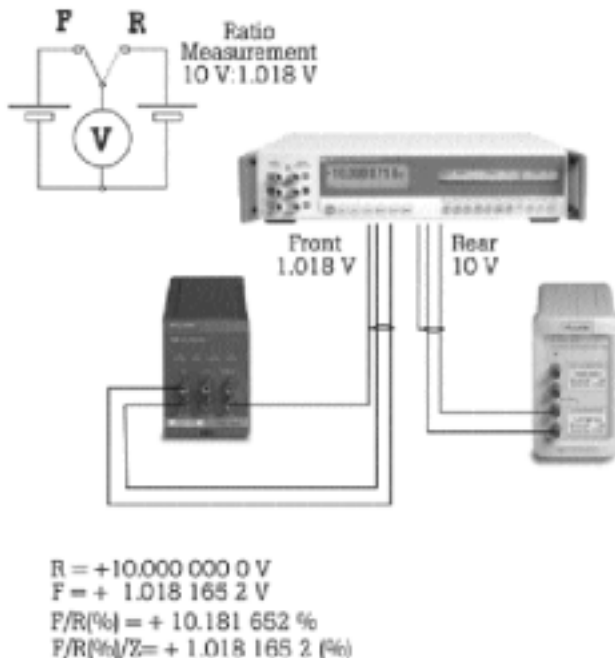


图3 电压比率测量

## 电阻测量应用

参考级数字多用表的另一个非常有用的应用场合是电阻的测量。8 位半参考级数字多用表在电阻功能之下实际上具有与其直流电压功能相同的线性度。只是在这种情况下，没有足够准确的电阻标准器能够用来在通常的意义上证明这样高的电阻功能线性度。试图直接测量电阻功能的线性度所遇到的问题之一是单个电阻器电阻数值的不确定度。例如，测量一台 8 位半参考级数字多用表在 20kΩ 量程的线性度，仪器在该量程的最大读数指示值为 19.000 000 0kΩ，这时就需要使用几个不同的电阻标准器。假定这项测量工作是在该量程中的最少 5 个等间隔的测试点上进行的，例如这 5 个测试点为零点、5kΩ、10kΩ、15 kΩ、和 19.9 kΩ。很快我们就会发现要找到这些合适的电阻标准器是很困难的。通常，可以找到的电阻标准器都是正常的十进数值，如 10Ω（也可能会有 2.5Ω 的电阻标准器）、100Ω、1kΩ、10kΩ 等，所以无法等间隔地覆盖整个量程。

当人们考虑到某些数字多用表具有优于 0.3 ppm 的电阻功能线性度技术指标，而单个电阻标准器的不确定度可能为 1 ppm 或者更大时，使用分立的标准电阻器或者十进电阻箱来进行测量就是不合适的了。因此，在参考级数字多用表的日常的校准工作中，通常是不测量电阻功能的线性度的。

然而，仪器电阻功能的线性

度指标可以用下述的方法来验证。图 4 所示的是用来测量参考级数字多用表的电阻功能的线性度的电路结构情况。在这里，电阻选件主要是一系列可选择的恒定电流。恒定电流发生器强制地使电流  $I_x$  流过测试电阻器  $R_x$ 。一个真正的恒定电流源所产生的电流应当与跨过其两个端子——在这里就是指输入高端 Hi 和输入低端 Lo——之间形成的电压无关。

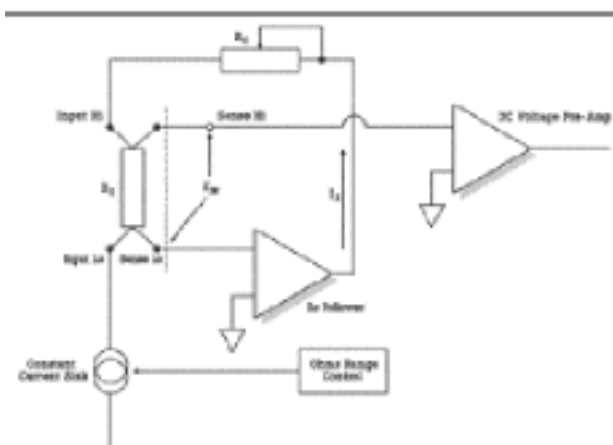


图4 参考级数字多用表的欧姆转换器

这样一来，如果把一个已知的电阻器加到该参考级数字多用表上并记录下显示的读数数值，然后在其输入高端 Hi 引线中串联插入另一个附加的电阻器应当不会太大地影响该数字多用表的读数。这样就能够确认该电流源能够向一系列电阻数值送出相同的电流。如果还能够确认在电阻测量中所使用的电压量程也是线性的，那么在技术上我们就有一种可靠的方法来确认很好的电阻线性度，而不需要使用电阻线性度的标准。注意，该串联的电阻不需要是精密电阻器——该电阻器可以是一个低噪声的电位器。

### 真欧姆测量技术——避免热电动势的误差

把四线欧姆测量技术和真欧姆测量技术混淆起来是一个典型的错误。诚然，这两种技术原理是完全不同的，但是都用来消除电阻测量的误差。计量学应用领域中的惯例是使用四线敏感技术来测量低阻值的电阻器，这样就可以消除串联的引线电阻引起的误差。然而，这种技术并没有考虑到热电动势的影响。

热电动势是指在电压测量电路中在处于不同温度下的不同种类的金属的结合部产生的电动势。其典型的来源可能就在电阻器本身的内部，或者是在连接引线和接线端子的地方。这就是校准实验室中的温度的均匀性非常重要的原因。在参考级数字多用表自身的内部也会存在着热电动势。在测量开始之前进行一个简单的清零操作（一种数学的减法运算）就能够消除所有这些“静态的”热电动势。

就其本质来说，这些热电动势也能够变成“动态的”。

由于室内的或者流经仪器的通风和气流，甚至由于室内空调温度的变化所引起的环境温度变化都会导致不断变化的热电势电压。

最后还有由于激励电流对分流器电阻的直接加热所引起的电压偏置。当电流比较大时，这还可能在外部连接处引起热电效应（珀耳帖效应和赛贝克效应）。这些动态的热电势只有在电流流动时才会发生，但是由于其热时间常数很长，所以可以对其进行测量。传统的电阻电桥测量技术使用一种特殊的方法把被测电阻和其它不希望的寄生参量（即电压偏置）隔离开来。一种典型的方法是将已知电阻器和未知电阻器串联起来，并使电流流过这两个电阻器。然后，通过测量每个电阻器的电位端子之间产生的电压来进行电压比率的测量。接着将所加的电流反向并重复进行该项测量工作。电流的反向将会消除电压偏置值的影响，因为在一种极性之下电压偏置值将加到被测电压上，而在另一种极性之下电压偏置值将会从被测电压中予以扣除。这样，从正向电流和反向电流的测量过程中得到的平均电压比率就消除了电压偏置的影响。

遗憾的是，这种电流反向技术只能在各种昂贵的电阻电桥中才能够见到。从前的数字多用表

设计方案曾经试图使用真欧姆测量技术或者偏置补偿欧姆测量技术来解决这个问题。这些方法本质上都是首先关掉电流源，在零电流之下进行测量并得到一个附加的电压读数；然后“打开电流源”进行电压测量，并且从这次电压测量所得到的读数中通过数学运算减去那个零电流下测量出的电压读数。这样就消除了测量通路上的不希望的电压偏置的影响。然而，这种技术的缺点是测量电流以读数的速率开关变化，从而调制了被测电阻器的功率耗散及其温度。这种效应在测量某些类型的电阻器时会引起重大的误差，特别是在测量低阻值电阻器、以及其温度和功率之间有较强依赖关系的电阻器时尤为明显。其中一个例子就是铂电阻温度计。

然而，福禄克公司的 8508A 参考级数字多用表具有增强的电阻测量能力，能够自动地补偿任何静态的或者动态的热电动势的影响。图5中说明了电流反向真欧姆技术的发展和实现的情况。在这种情况下，能够对电流源进行反向操作。

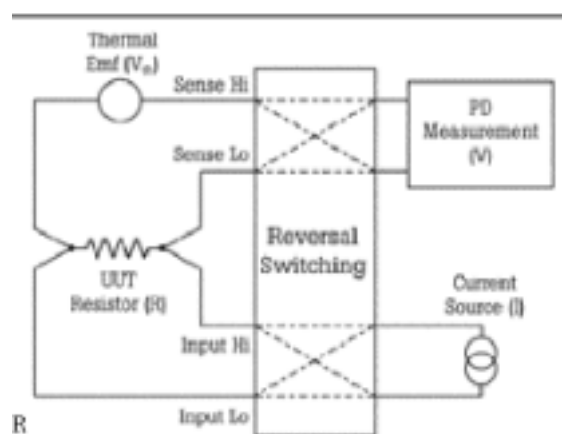


图5 电流反向真欧姆技术

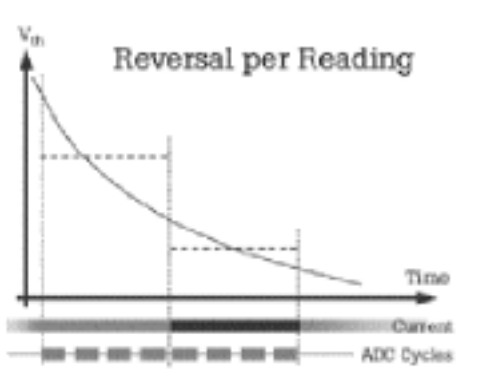


图 6a 在每次读数之后电流反向

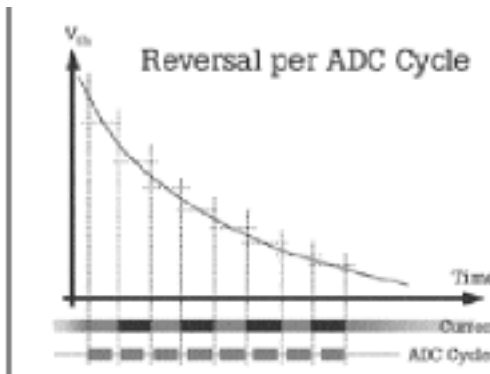


图 6b 在每个模拟数字转换器周期之后电流反向

每个读数包括两次测量，这两次测量在数字多用表的微处理器的控制下自动地进行。第一次测量的读数在电流为正向的情况下获得，第二次测量的读数在电流为反向的情况下获得。对两次测量的读数进行平均以获得仪器显示的读数结果。被测电阻器上的功率耗损保持恒定，因为电阻器中的电流从来没有切换到零。这样一来就不仅消除了静态的热电动势，而且也消除了不断变化的热电动势。

和直流电压测量功能时一样，在真欧姆测量功能下用户可以选择分辨力和模拟数字转换器的模式，这样就有效地控制了读数的分辨率和采样（积分）时间。在较高分辨力的情况下，如果热电动势在仪器的积分时间之内变化比较大，那么比较长的有效积分时间将会限制真欧姆热电动势抵消技术的有效性。为了在较高分辨力之下（在这种情况下，对多个模拟数字转换器周期的结果进行数字平均运算）避免发生这种情况，在读数序列中将电流反向多次，而不是只反向一次。图 6a 所示为对于每个极性的每个读数要将 4 个模拟数字转换器周期进行平均，而在每个读数之后进行一次电流反向。图 6b 所示为电流反向在每个模拟数字转换器周期之后发生。

对于每一种极性都发生相同数目的模拟数字转换器周期，但是在连续的极性反向之间热电动

势的变化则要小的多，因此这种抵消作用会更加有效。

### 欧姆屏蔽保护

在测量比较高阻值的电阻时要考虑的另一个问题是测量电路中并联泄漏的影响。这种泄漏将会从被测量的电阻器上分掉一些电流，并使测量产生误差。如果能够欧姆保护端进行适当的连接的话，参考级数字多用表的欧姆保护功能能够有效地消除这种泄漏的影响。

福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的电阻功能具有一个“外部保护”（'Ext Grd'）选项，选用了这个选项之后就可以使保护端子的功能成为欧姆屏蔽保护。图 7 和图 8 说明了福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的欧姆

屏蔽保护功能的使用情况。Lo 端跟随器通过强制更多的电流流过 Rx 和 Ra 直到 Lo 端处在 0V ( $I_b=0$ )，从而使得 Lo 端和模拟公共端 (0V) 保持在相同的电位。这样校准电流  $I_x$  就将流过 Rx。注意，当对于连接引线的隔离情况有怀疑的时候，可以将输入敏感高端和输入高端放在一个屏蔽之内，将输入敏感低端和输入低端放在另一个屏蔽之内，而把这两个屏蔽接到欧姆保护端。这样就能够消除输入高端 / 敏感高端和输入低端 / 敏感低端之间的任何泄漏现象（参见图 8）。

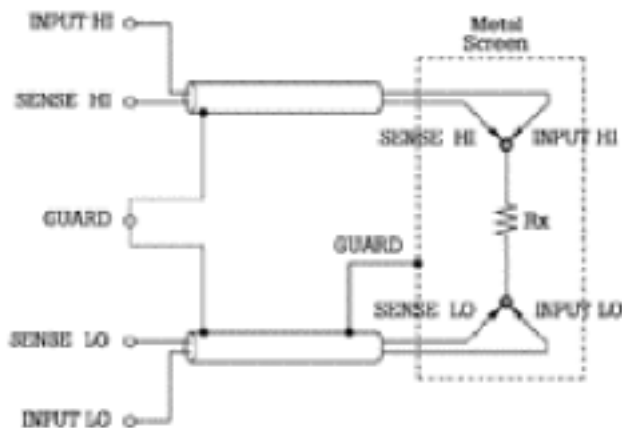


图 7 欧姆屏蔽保护的连接

这是因为泄漏现象可以“看”作是一个并联的电阻通路，而这个电阻通路带有一个方便的分支电路（电缆的屏蔽）作为其欧姆保护端。假定电流泄漏电阻通路的阻值大于 250Ω，那么不仅泄漏电流将会由 Lo 段跟随器来提供（如 Ia），而且所有引线电容的充电电流也将由 Lo 端跟随器来驱动，从而减少了测量高阻值电阻器时的建立时间。

### 电阻的传递和比率

福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的电阻测量功能也可以进行比率测量。而且，该参考级数字多用表的前面板和后面板上都具有欧姆保护端子，在高阻值电阻测量工作中可以用来消除引线泄漏引起的测量误差。与比率切换相结合，就可以进行 1:1 和 10:1 比率的高准确度的自动化的电阻传递工作。在这两种比率值之下，按照所涉及的电阻器的阻值将参考级数字多用表配置成具有适当的分辨力（5 位半至 8 位半）、模拟数字转换器速率、欧姆电流源、模拟/数字滤波器和比率模式。其量程的选择应当适合两个电阻器当中阻值较高者。例如，测量 10kΩ 到 1kΩ 的比率应当使用参考级数字多用表的 20kΩ 量程。参考级数字多用表的优异的线性度将会保证这两个电阻值之间的最高的传递准确度。图9示出参考级数字多用表的配置情况，以便通过其前、后面板的输入端子使用电阻比率的方法来比较两个电阻标准。

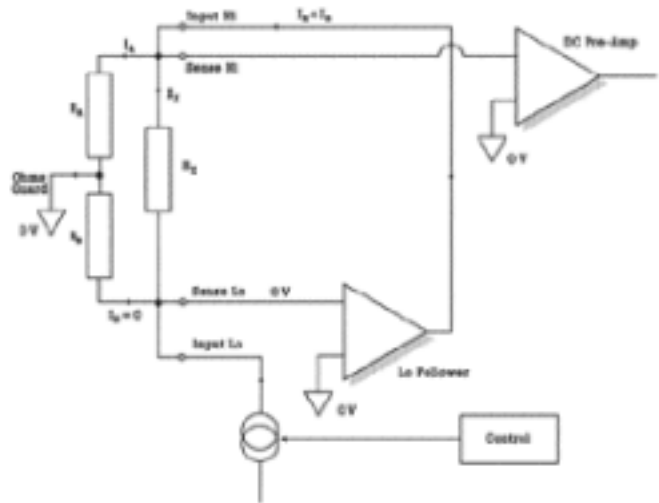


图8 欧姆保护的工作

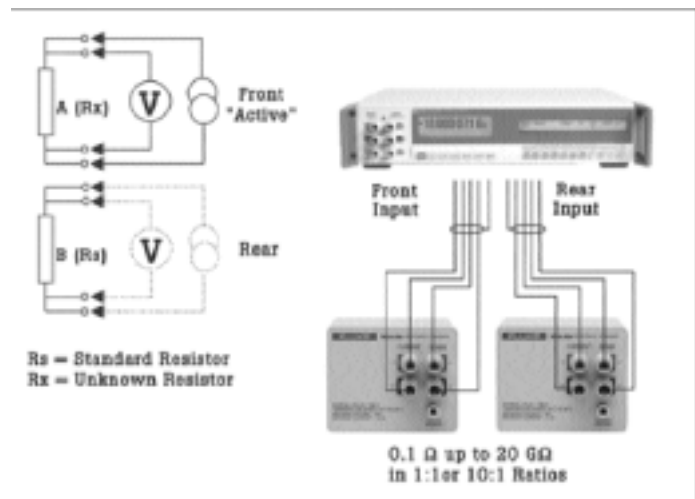


图9 电阻比率

## 真欧姆比率测量

一种独特的真欧姆技术和比率测量功能的扩展性能现在已经纳入到福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的设计中，这种扩展的性能用来避免热电势以及当激励和测量操作在两个通道之间扫描时由于被测电阻上的功率调制现象而引起的热效应。这种技术不在两个通道之间进行激励电流的切换，而是把这两个通道配置成串联结构的形式，如图 10 所示。这样一来激励电流就连续地流过两个被测电阻。这时只对电位差测量操作进行扫描。在同一个恒定电流连续地流过两个电阻

器的情况下，测量出跨过每个电阻器两端的两个电压之比率。这样，不论测量工作运行到测量周期的哪一部分，每个电阻器上的功率耗散始终是恒定的。这种技术对于激励电流比较高的低电阻值的量程（例如，在  $2\Omega$  量程、激励电流为  $100\text{mA}$ ）的测量工作来说最为有益。由于比较低阻值的电阻器通常都是在较低电压下来测量的，所以热电动势的误差也会更加重要。因此我们就把这种特殊的比率测量特点和真欧姆测量功能，包括电流反向技术结合起来使用。

当在真欧姆测量功能之下选择比率测量模式时，数字多用表

自动地工作在这种“电压比率”方式之下。

## 低阻值电阻测量时使用的电压比率技术

当被测电阻器的阻值非常低，例如阻值为  $100\text{ m}\Omega$  或者更低时，也可以使用类似于图 10 中使用的电压比率技术。这时，一个外部的电流源给出测试电流，并使该电流流过互相串联的两个电阻器。参考级数字多用表工作在其电压比率模式之下。使用如图 11 所示的这种电压比率模式时，可以使用  $1\text{A}$  或者  $10\text{A}$  的电流源。

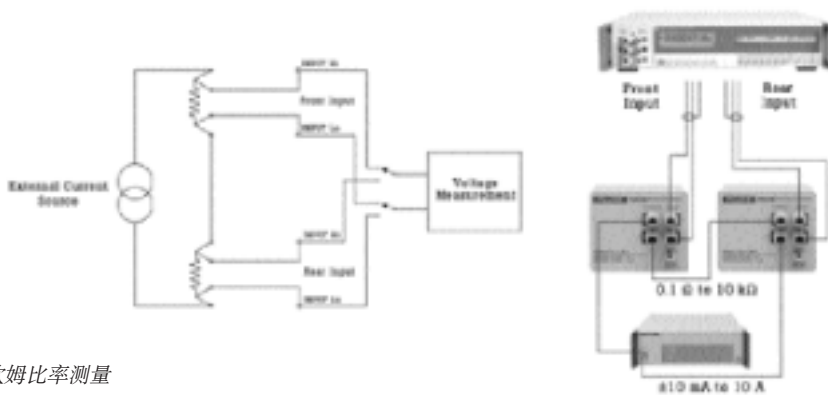


图 10 真欧姆比率测量

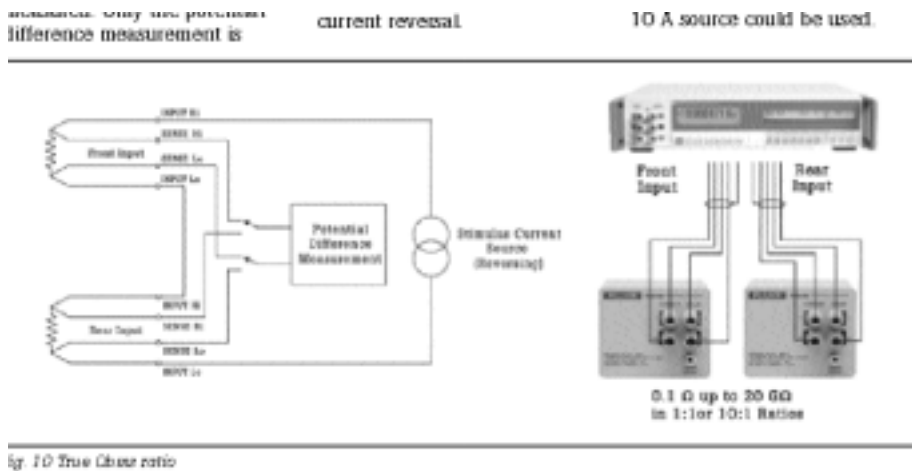


图 11 电压比率测量 (测量电阻)



这种方法使得电阻比率测量的范围得以扩展, 并包括低于 $0.1\Omega$ 的阻值, 例如 $10m\Omega$ 甚至 $1m\Omega$ 。正如前面所述, 热电势对于测量低阻值的电阻器来说是很重要的, 特别是当使用大电流进行测量时。所以通常需要采用将电流反向的方法, 并且取两次电压比率测量的平均值。

### 使用参考级数字多用表进行十进制电阻箱的校准

对于校准十进制电阻箱来说, 最方便的方法是利用参考级数字多用表的准确度来进行直接测量, 也就是说不是在比率模式之下来进行测量。这是因为要考虑校准工作中所需要的测量次数, 并且对于大多数的十进制电阻箱来说所需要的准确度要低一些。大多数的十进制电阻箱都是两端子的装置, 并且具有很大的零点电阻。

对于这种类型的测量工作来说, 真欧姆测量技术是非常有效的。这是因为这种技术能够消除热电势, 但是不受电阻偏置的影响——虽然也可以使用参考级数字多用表的输入消零功能来消除电阻偏置。图 12 所示为一个十进制的电阻箱连接到参考级数字多用表的前面板输入端。后面板上的输入端子一般不使用, 但是要达到最高的准确度, 将一个电阻标准连接到后面板的输入端子上, 就可以很容易地进行传递工作。注意, 前面板上的输入端子可以供两个电阻器中的任意一个使用。要校准一个标称值为  $10k\Omega$  的两线、6个十进度盘的电阻箱需要使用参考级数字多用表的4个量程。该参考级数字多用表应当工作在其真欧姆模式之下, 其量程和分辨力按表 1 所示来设置。首先, 在十进制电阻箱的Lo端端子上将参

考级数字多用表的敏感高端和输入高端与输入低端和敏感低端连接起来, 进行4线校零操作。然后, 使用输入校零操作来消除任何剩余的电阻偏置。接着把数字多用表的输入高端和敏感高端引线移到电阻箱的高端端子, 并将所有的十进度盘都调到零位。这时, 数字多用表将指示出该十进制电阻箱的真零点误差。记录下这个零电阻值以后, 使用输入校零功能将这个电阻偏置值去掉, 并且依次调节每个十进度盘来对每个十进度盘进行测量, 直到达到其最大阻值 $11.1111k\Omega$ 为止。注意, 从下面的分辨力表可以看出这种测量的相对准确度是非常高的。而且, 由于参考级数字多用表的分辨力是按每个十进度盘来调节的, 所以该测量也是非常快的。

度盘编号	步进值	十进度盘的最大值	参考级数字多用表的量程	参考级数字多用表的位数	测量分辨力 步进值的百分数 kΩ 的 ppm 数	
1	1 kΩ	10 kΩ	20 kΩ	7.5	0.0001	0.1
2	100Ω	1 kΩ	2 kΩ	6.5	0.001	0.1
3	10Ω	100Ω	200Ω	5.5	0.01	0.1
4	1Ω	10Ω	20Ω	5.5	0.01	0.01
5	0.1Ω	1Ω	2Ω	5.5	1	0.1
6	0.01Ω	0.1Ω	2Ω	5.5	10	0.1

表 1 十进制电阻箱和参考级数字多用表的分辨力

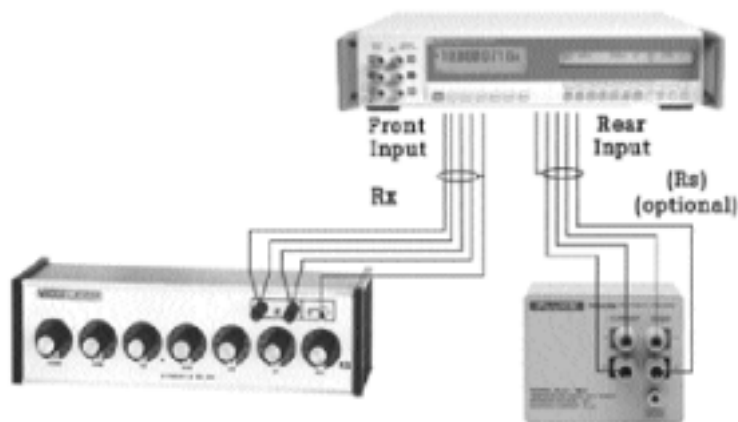


图 12 十进制电阻箱的校准

## 高电压电阻测量

在图 8 中，通过增加 Lo 端跟随器的输出电压驱动能力，可以大大改善该系统测量高阻值电阻的能力，其量程可高达 20GΩ。在过去使用这种方案的时候，其最大的电压为 20VΩ，但是在福禄克公司 8508A 的设计方案中将此最大电压增加到 200V 以上。所以在使用 8508A 的高电压电阻测量功能的时候，总是要极为小心，因为其输入端子上的电压可能会达到远远超过标称的直流 200V。

这种技术要求在仪器的直流电压测量系统中使用更高的电压量程（200V 量程），其输入阻抗大约为 10 MΩ。然而，与被测电阻（可高达 20 GΩ）相比，这个比较低的阻抗不会成为问题，因为直流电压测量系统所吸收的输入电流是直接由 Lo 端跟随器的输出经过输入高端端子来供给的。这不会影响电流源经过输入 Lo 端端子所供给的激励电流。在较高的电压之下测量高阻值的电阻能够改善噪声性能、减小泄漏电流的影响（因为激励电流比较大）；而且通过在正常电压和高电压两种电阻测量模式之下来测量同一个电阻器，还能够对电阻器的电压系数进行估计。

## 低负载“虚拟地”电流测量技术

大多数数字多用表，包括很多精密数字多用表的设计方案中都使用“分流器”的方法来测量电流，如图 13 所示。这时，输入电流流过分流器电阻  $R_s$ ，

而将该分流器上产生的电压 ( $V_s$ ) 加到数字多用表的交流或者

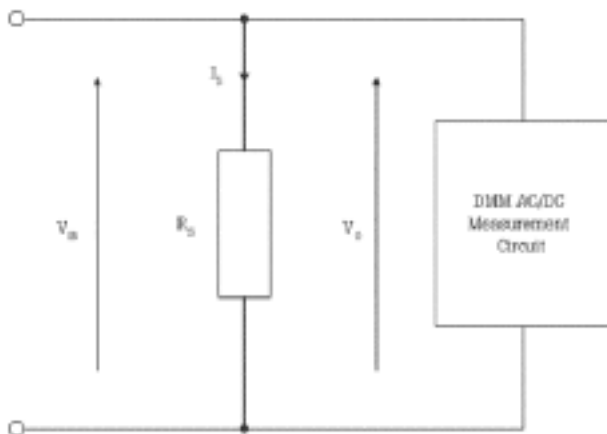


图 13 普通数字多用表的输入分流器结构

直流测量电路上去。多电流量程的仪器的每一个电流量程使用不同的分流器阻值  $R_s$ 。为了确保进行合适的测量，必须要求在分流器电阻上产生足够的电压。但是这个电压也会出现在电流测量输入端子之间，表现为负载电压  $V_{in}$ 。如果这个负载电压比较高，那么当把数字多用表插入到被测电路中进行电流测量的时候，该负载电压就会扰乱被测电流的电路的工作状态。在两个输入端子之间出现的外部寄生电容（例如引线电容）也会与分流器电阻并联出现，并且也会承受该负载电压  $V_o$ 。对于较低的电流量程来说，所使用的分流器电阻的阻抗值比较大。这就增加了分流器受

寄生电容影响的敏感性，并且能够使得其频率响应变坏。新一代的参考级数字多用表的设计中已经考虑到了这些因素。

福禄克公司的 8508A 参考级数字多用表在其 200μA、2mA、和 20mA 量程中使用了一种“虚拟地”电流测量技术（见图 14）。这种方法从本质上把前面所说的与“分流器”方法相关的负载电压减到了最小，并大大地降低了输入电阻。这时，输入电流流经一个反向放大器的反馈电阻器 ( $R_s$ )，而在该放大器输入端产生的电压为零（虚拟地），从而有效地将输入负载电压和分流器  $R_s$  两端产生的电压隔离开来。

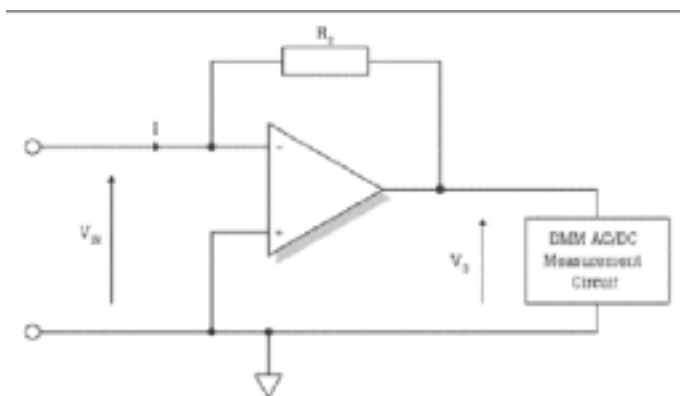


图 14 安培表输入端“虚拟地”电流结构

现在可以使得输出电压 $V_o$ 即 $I(R_s)$ 足够大,以便电压测量电路来进行测量。虚拟地电流测量技术给分流器电阻阻值比较高的小电流量程带来了极大的好处。对于较大的电流量程来说,“分流器”技术可以很好地发挥作用,并且应用于福禄克公司 8508A 参考级数字多用表的 200mA、2A、和 20 A 量程中。

操作人员使用这种采用了“虚拟地”输入的电流测量方法有两个主要的好处。第一,如上所述,由于电路的输入电阻实际上为零,所以把数字多用表插入到被测电路的时候,在数字多用表电流输入端子之间产生的电压就要小的多,因此电流测量对于被测电流电路状态的影响和扰动也要小的多。而且,第二,实现保护技术的方法也变得更加简单。其原因是由于在数字多用表输入端子之间产生的电压要小的多,所以产生泄漏电流误差的机会也就小得多。在较高的频率之下测量交流电流的时候,由于用来连接数字多用表的电缆的寄生电容的影响,泄漏电流的误差通常会成为问题。

### 解决电流测量中自加热的问题

大多数的 3 位半或者 4 位半分辨力的通用数字多用表能够以适当的准确度测量高达 20A 的交流 and 直流电流。分流器的温度系数特性以及由于分流器功率耗损所引起的自加热效应限制了测量的线性度和建立时间的性能,从而降低了数字多用表的测量准确度。所以高精度度的数字多用表通常都没有大电流量程。

福禄克公司的设计人员使用当代最新的技术成功地克服了这些技术障碍,使得计量学家们能够使用 8508A 参考级数字多用表

来直接进行实际的大电流测量。福禄克公司的 8508A 参考级数字多用表采用了具有极低温度系数的高准确度的分流器,并且是分流器的功率耗损降低到了最小。细心的外围电路设计和热设计使得系统的建立时间和线性度性能都达到了最优化的状态,从而满足了各种计量学应用工作的要求。

### 大电流的测量

福禄克公司推出新一代参考级数字多用表所带来的新的特色之一是在交流和直流电流量程上都可以测量更大的电流。以前,所有位列前茅的精密数字多用表都只能测量满度为 2A 的电流,这就给需要校准 2A 或者更大电流的各种应用工作带来了很大的问题。例如,一台多产品校准器的交流或直流电流量程的校准工作过去总是分为两步来进行的。通常,2A 及其以下的电流量程将使用任何精密的长标尺数字多用表按普通的方法来进行。然而,象福禄克公司 5520A 这样的多产品校准器具有高达 20A 的交流 and 直流电流量程,所以不能仅仅单独使用一台精密数字多用表来校准。校准 20A 量程这样比较大的电流需要使用一个经过适当校准的分流器,将其连接到长标尺精密数字多用表的输入端,并按照满度电流流过分流器时产生的电压来设置适当的电压量程。

8508A 参考级数字多用表能够测量满度高达 20A 的交流 and 直流电流,因此不再需要使用外部的分流器和连接电缆,这样就使得大电流测量的准备工作和实际测量工作都要容易得多。

### 使用参考级数字多用表来作为高准确度的温度校准工具

象福禄克公司 8508A 这样的

参考级数字多用表现在可以为计量学家的高准确度测量之弓提供另一根弓弦。福禄克公司 8508A 的高准确度温度测量功能使得用户能够再进行另外两项校准工作。首先,当该数字多用表和一支具有已知特性的铂电阻温度计 (PRT) 一起使用时,就可以使用该参考级数字多用表简单地读出由该铂电阻温度计测量出的温度。在校准诸如干井式温度校准炉这样的温度源时,这种方法尤为有用。其次,该参考级数字多用表还可以用来校准铂电阻温度计 (PRT) 或者标准铂电阻温度计 (SPRT) 探头。而且,由于其具有两组输入端子,比对和传递测量工作都是非常简单的。

在进行任何温度测量之前,必须将铂电阻温度计或者标准铂电阻温度计的特性系数和配置情况输入到参考级数字多用表中。福禄克公司的 8508A 参考级数字多用表可以贮存多达 100 个温度探头的参数设置,根据需要可以对所有这些参数进行编辑修改或者予以删除。还可以按照 2、3、或者 4 线铂电阻温度计或标准铂电阻温度计探头的工作状态以及 25 $\Omega$ 或 100 $\Omega$ 的探头阻值情况进行参数设置。对于高准确度的标准铂电阻温度计校准应用工作,仪器还支持 ITS-90 子区间,也支持所有工业应用中铂电阻温度计探头的 Callendar van Duesen 转换算法。

福禄克公司的 8508A 通过测量所连接的铂电阻温度计或者标准铂电阻温度计探头来给出温度的读出结果，并将测量的电阻值变成温度。依据被测温度下探头的电阻值数字多用表将会自动地选择 200Ω“低电流”(Lo I) 电阻量程或者 2 kΩ“正常电阻量程”。在激励电流为 1mA 之下，采用电流反向真欧姆工作模式。还可以通过设置使得福禄克公司 8508A 参考级数字多用表按用户可以选择的三种测量单位——摄氏度、华氏度、或者开尔文度之一，以高达 8 位半的分辨力来显示测量结果。

### 铂电阻温度计探头的校准数据和灵活性

福禄克公司 8508A 参考级数字多用表可以随仪器配备一个哈特科学公司（福禄克公司的子公司）的扩展量程的标准铂电阻温度计或者二等标准铂电阻温度计探头。另外，这些探头也可以作为 8508A 的附件来购买。所有探头都提供详细的校准证书，其中包括依据哈特科学公司的温度和电阻标准，通过具有很低不确定度的校准所获得的，进行各种温度转换算法得到所需要的系数。为了和福禄克公司的 8508A 一起使用，首先必须把这些探头的系数输入到参考级数字多用表中，这样电阻温度转换算法就能够将该特定探头获得的电阻数值正确地转换成准确的温度读数。

使探头的校准与参考级数字多用表相互独立就为用户提供了一种灵活性，使得用户在一台参考级数字多用表上可以使用适当电阻值的任何其它的温度探头，而不仅仅使用随仪器所配的那个探头。这样就不会牺牲测量的不确定度，因为由已经建立的转换算法而实现的温度溯源性的途径是基于在特定温度下的电阻测量的，而不是基于直接的温度测量的。直接将 8508A 与一个特定的温度探头一起校准将不会获得更好的温度测量不确定度，但是却意味着大大损失了使用其它温度探头的灵活性。

### 在一个单个的解决方案中实现电学的和温度的计量测量

参考级数字多用表具有很多的优点，对于要进行电学和温度两方面的校准工作的用户来说尤为如此。

当与一个标准铂电阻温度计探头或者铂电阻温度计探头一起使用时，参考级数字多用表的 PRT 功能对于精密温度测量和校准工作来说是非常理想的。真欧姆测量功能具有的双通道比率测量能力也可以用于按照其电阻阻值来直接比较铂电阻温度计探头。然而，如果需要同时测量几个铂电阻温度计探头，那么哈特科学公司（福禄克公司的一个子公司）提供的多种多通道精密温度测量方案将会是比较理想的方法。

这是福禄克公司和哈特科学公司一起合作的一个很好的范例，能够提供全范围的温度测量方案以满足任何这类应用的需要。

### 小结

自从 2002 年 6 月福禄克公司推出 8508A 以来，现在这款参考级数字多用表已经被认为是全世界电学计量实验室中当前使用的各种传统测量方法的自然的替代方案。现在福禄克公司的 8508A 参考级数字多用表已经进入了全世界的许多国家标准实验室、商业的实验室、以及军方的实验室。由于具有更高的准确度和稳定性、更广泛的功能、以及更加易于使用，许多电学计量实验室以及各种电学计量的应用工作现在都把这款参考级数字多用表看成是一项理想的投资或者其他长标尺的数字多用表的理想升级方案。而且由于具有更多的功能，这款参考级数字多用表与以往计量学家的宠儿——精密长标尺数字多用表相比，具有更大的吸引力并且是其经济有效的替代品。

### 福禄克，助您与时代同步！

美国福禄克公司 中文网址: [www.fluke.com.cn](http://www.fluke.com.cn)  
英文网址: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

- |  |   |
|--|---|
| <b>北京办事处:</b><br>地址: 北京建国门外大街 22 号, 赛特大厦 2301 室<br>邮编: 100004<br>电话: (010)65123435<br>传真: (010)65123437        | <b>大连联络处:</b><br>电话: (0411)83640582<br>传真: (0411)83640592 |
| <b>上海办事处:</b><br>地址: 上海市天目西路 218 号, 嘉里不夜城第一座 1208 室<br>邮编: 200070<br>电话: (021)63548829<br>传真: (021)63545852    | <b>沈阳联络处:</b><br>电话: (024)23286038<br>传真: (024)23286089   |
| <b>广州办事处:</b><br>地址: 广州市体育西路 109 号, 高盛大厦 15 楼 B 座<br>邮编: 510620<br>电话: (020)38795800<br>传真: (020)38791137      | <b>武汉联络处:</b><br>电话: (027)85743386<br>传真: (027)85743561   |
| <b>成都办事处:</b><br>地址: 成都市人民南路四段 19 号 威斯頓联邦大厦 17 楼 K-N 座<br>邮编: 610041<br>电话: (028)85268810<br>传真: (028)85268988 | <b>重庆联络处:</b><br>电话: (023)89061910<br>传真: (023)89061909   |
| <b>西安办事处:</b><br>地址: 西安市二环南路 100 号, 金叶现代之窗 1010 室<br>邮编: 710065<br>电话: (029)88376090<br>传真: (029)88376199      | <b>济南联络处:</b><br>电话: (0531)6121727<br>传真: (0531)6121767   |
|  | <b>深圳联络处:</b><br>电话: (0755)83663583<br>传真: (0755)83663532 |
|  | <b>新疆联络处:</b><br>电话: (0991)3628551<br>传真: (0991)3628550   |
|  | <b>南京联络处:</b><br>电话: (025)84731286<br>传真: (025)84731285   |
|  | <b>北京维修站:</b><br>电话: (010)65123436<br>传真: (010)65123437   |

## 福禄克公司 8508A 参考级数字多用表



参考标准级的准确度和稳定性寓于一个功能多样、易于使用的解决方案中