

数字多用表测试和校准通用指南

应用文章

数字多用表(DMM)是一种应用最广泛的电学测量仪器，为许多工业用户提供电学量溯源。但是，作为测量工具，我们需要对它们进行定期的检查，以确保其功能正常，且完全符合技术指标。此类定期检查称为校准，要求技术人员具备一定的数字多用表技术知识，才能进行有效校准。本应用文章旨在介绍数字多用表重要的功能和校准参数，为其定期校准提供通用指导。

数字多用表技术指标

厂家在设计数字多用表时有两个重要目标。首先必须保证向潜在用户清晰展示仪器指标和功能，促使他们购买；另外还要确保正确表达仪器的计量性能，以便在竞争激烈的环境下发挥最佳优势。技术指标实际上表述的是仪器内部实现相应功能所必需的电路的性能。每项功能都有一个准确度指标，表示为读数百分比“ $\pm \%R$ ”再加上一个修正值或加数，例如“ \pm 字数”或“ $\pm\mu V$ ”。这种表示方法被称为组合技术指标，表示指标由多个分量组成。有时候，这种形式被认为是掩盖真实性能的一种方式；但实际上，这是利用单个准确度表达式表示较宽参数范围内性能的唯一实用方法。在数字多用表发展的 40 年历程中，为了描述性能参数，专业术语已经历演变。附录 1 中汇总了这些术语。

性能参数

从仪器功能和指标方面考查性能是非常方便的，功能表示基本能力，例如数字多用表可测量电压；指标表示或限定其性能，例如准确度为 $\pm 5 \text{ ppm}$ 。很容易看出，为了正确地校准仪器，就必须了解这些指标。

功能指标实例

- 功能：V、A、 Ω
- 标度长度/分辨率
- 读数速率
- 量程
- 频率范围

指标实例

- 时间和温度稳定性
- 线性度
- 噪声
- 频率响应或平坦度
- 输入阻抗
- 顺从性/负载效应

- 共模/串模抑制
- 波峰因子
- 功率系数



直流电压

几乎所有的数字多用表都可测量直流电压。这是由模/数转换器(ADC)的性质决定的,模/数转换器(通常)将电压转换为以时钟数表示的定时信息。最常见的方法是采用双斜率积分技术。该方法中,将输入信号施加至积分电路,持续固定周期,然后对积分电容放电,并测量放电时间。这种基本的双斜率方法用于低分辨率数字多用表,但较高准确度的仪器要求更复杂的设计,以确保良好的性能。数字多用表的分辨率可高达 8½位,通常采用多斜率、多循环积分电路,从而在工作范围内实现良好的性能。ADC 通常是单范围电路,也就是说,只能处理较窄的电压范围,比如 0 至± 10 V。但是,数字多用表的设计可能为 0 至± 1000 V。这就需要诸如放大器和衰减器等附加电路,将输入电压缩放到 ADC 可测量的范围。此外,必须具有高输入阻抗,从而使数字表的负载效应可忽略不计。每个放大器和衰减器或增益元件都会引入附加误差,必须加以限定。直流电压指标的影响量在下文中一起给出,采用其典型的表达形式,括在括号内。

直流电压指标影响量

- 参考稳定度(%读数)
- ADC 线性度(%量程)
- 衰减器稳定度(%读数)
- 电压偏移(绝对值)
- 输入零电流(绝对值)
- 噪声(绝对值)

• 分辨力(绝对值)
这些影响量将被组合在一起,形成组合指标,表示为“% 读数 ± % 满量程”或“量程 ± μV”。为了能够通过校准检定仪器的性能,必须将以上效应隔离开。也就是说,在消除偏移和增益误差的影响之前,无法测量量程线性度。图 1 所示为这些基本参数。

ADC 是所有功能的所有量程都通用的,因此其特征误差将影响全部功能。幸运的是,这意味着只需要在基本量程(一般为 10 V)下检定基本直流量程。用户手册应说明基本直流量程是什么。如果没有直接说明,可以根据直流电压指标推断,例如在“± % R”、“± FS”和“± μV”中具有最佳指标的 量程一定为基本量程。其他量程,例如 100 mV、1 V、100 V 和 1 kV,由于涉及到附加电路,将具有稍差的性能。在 100 mV 和 1 V 量程

较低电平,主要影响因素是噪声和电压偏移。对于较高的电压量程,衰减器中功耗的影响将产生幂律特征,其影响度取决于电阻设计和温度系数。了解数字多用表功能模块的设计和互赖性非常有助于制定有效的校准策略。

数字多用表功能树

数字多用表的功能和量程依赖性是非常具有逻辑的,通常设计成尽可能利用共用电路,最大限度减少元件数量。例如,ADC 被用于所有功能,检流电阻用于交流和直流电流,交流有效值转换器用于交流电压和交流电流。图 2 所示为典型的功能“树”。

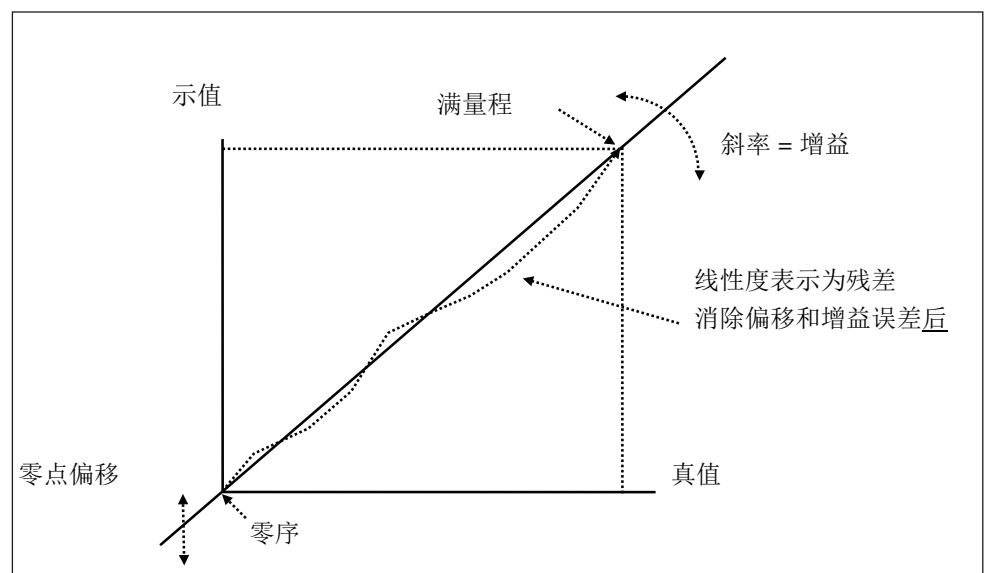


图 1.数字多用表偏移、增益和线性度

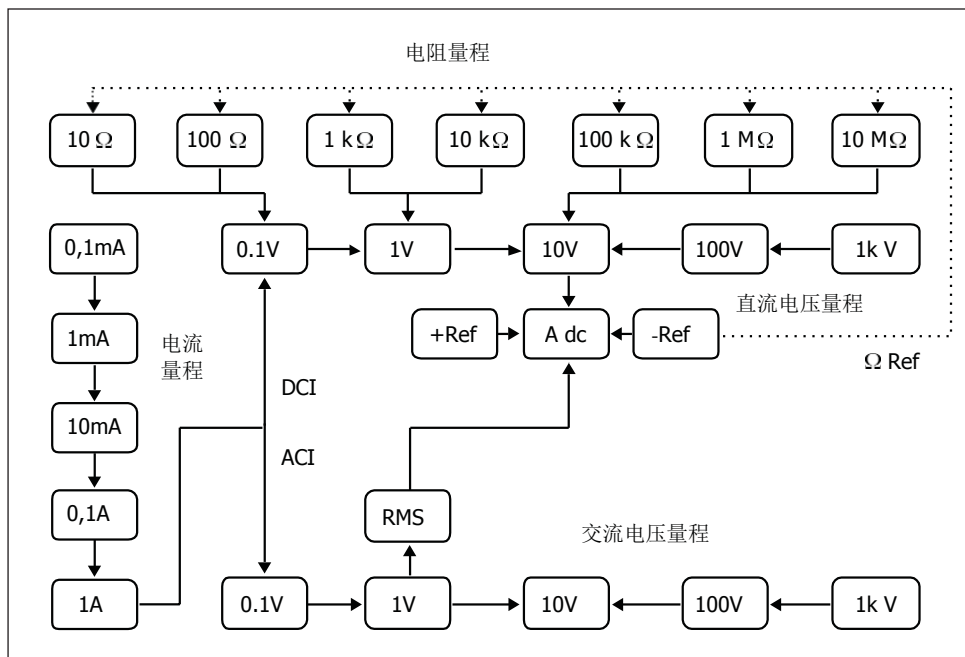


图 2. 数字多用表功能模块

直流电压校准策略

对于一台新数字多用表，制造商将测试仪器各个方面的性能。但是，对于例行校准，如果认为能够根据仪器的技术、工作原理和累积历史数据对其进行表征，则可以大幅减少测试数量。通常只需要在正负两个极性上校准每个直流电压量程。输入电压既不存在增益也不存在衰减的“基本量程”通常为 10 V。由于基本量程的误差将被传递到其他量程，所以基本量程通常为第一个被测量程。然后继续较低的量程，1 V 和 100 mV，再然后继续 100 V 和 1 kV 量程。将这些量程留在最后的原因是，在较高电压下，数字多用表和校准源的功耗效应都增大。测试顺序类似如下：

直流电压校准顺序

- 10 V 零点、+10 V 增益、-10 V 增益
- 10 V 线性度：±1 V、±5 V、±15 V、±19.9 V
- 1 V 零点、+1 V 增益、-1 V 增益*
- 100 mV 零点、+100 mV 增益、-100 mV 增益*
- 100 V 零点、+100 V 增益、-100 V 增益*
- 1 kV 零点、+1 kV 增益、-1 kV 增益*

* 部分数字多用表可能没有负极性量程调节

仔细分析结果可获得关于仪器性能的很多信息。10 V 量程下误差的变化也将传递到其他相关量程。因此，如果发现 10 V 量程增加+5 ppm，且 100 V 量程没有变化，则说明 100 V 量程实际上发生了-5 ppm 变化，但被 10 V

量程误差补偿了。

如果发现仪器超差，这种评估会非常有用。如果 100 V 量程存在+10 ppm 变化，而技术指标允许值为±5 ppm，首先可能会认为 100 V 量程增益定义元件存在缺陷，但实际上可能是由于仪器的内部参考造成的。无论哪种情况，

100 V 量程不符合技术指标，但问题的根源可能与 100 V 量程的元件无关。如果没有这一知识，可能会错误地更换元件，造成历史丢失和附加成本。

功能测试

在您将宝贵的时间和精力投入到可能冗长的校准工作之前，建议您先进行基本的功能性测试。有些微控制器控制的数字多用表具有自检功能，可用于执行全面的内部检查。如果没有此类功能，则应选择每项功能和量程，并将短路片或已知的电压、电阻或电流施加到数字多用表的输入。这些操作可确保仪器能够获得稳定的读数，控制和显示部分工作正常。功能性检查还可扩展到涵盖输入开关电路、辅助输出和远程控制数字接口。如果安装有 IEEE-488 接口，并且数字多用表需要定期校准，则值得编写一个简单的程序

来执行功能性测试。如果发现功能故障，则必须首先确定该故障对于继续执行调整前校准检查是否安全。这非常适合需要历史数据的情况，也有利于故障诊断。但是，如果存在任何人员伤害风险，或可能损坏仪器，最好首先维修仪器，然后再继续进行校准。

输入特征

应该采用定期测试的方法来确保数字多用表的输入特征是正确的。测试要求使用 LCR 或相对较低准确度的数字万用表。测试的目的是确保输入特征中不存在较大误差。注意，功能测试在本质上是查找百分比误差，而非 ppm 误差。例如，常见的交流电压输入电阻为 $1\text{ M}\Omega$ 。测试的目的是确保输入电阻没有严重偏高或偏低，比如在 $\pm 10\%$ 范围之内。对于大多数仪器，交流输入电阻将形成输入衰减器的一部分，所以在检定时将观察到输入电阻值的显著变化。直流电压功能输入电阻测量可能更为困难。对于较高的量程，比如 100 V 至 1 kV ，将有典型 $10\text{ M}\Omega$ 的衰减器，决定了输入电阻和分压比。该元件值的变化将造成直流电压校准的变化。但是，对于较低量程，输入电阻可能是由反馈决定的，实际上可能非常高。实际上，可能因为太高而造成无法进行可靠测量。检查输入特征的一般原因是确保其不会显著干扰测试电路条件。这有时候被称为非介入式。对于电流测量，重要的是负载电压。在数字多

用表中，负载是由检流电阻的值决定的，可作为电流检测端子之间的电阻值进行测量。通常情况下，选择该电阻时使得负载为 0.1 V 或更低。对于电阻功能，有两个相关的参数。第一个是电压测量端子的输入电阻(假设 4 线功能)。实际上该电阻通常非常高，可能与较低的直流电压量程相同。

输入电阻的任何变化都将直接影响电阻功能准确度，所以通常不必直接测量。第二个参数是数字多用表电流源的顺从电压。理想情况下，测量流经外部电阻的电流时，应该独立于电阻上的电压——理想的恒流源，输出阻抗为无穷大。但是，如果电流发生变化，将影响电阻功能的线性度。这将在电阻部分进一步讨论。

电阻校准策略

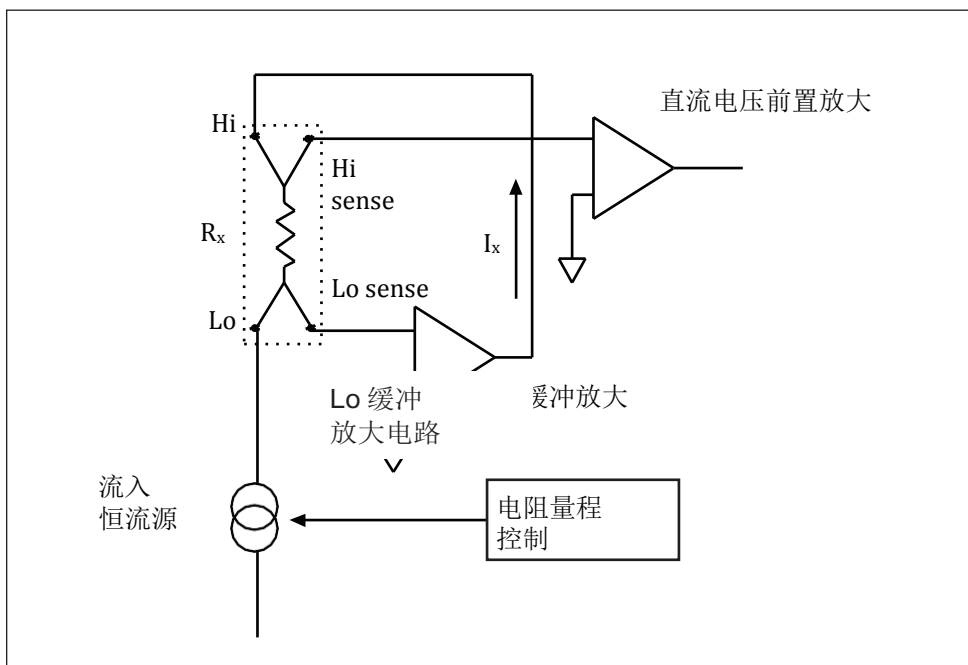
数字多用表的电阻功能主要由恒流源组成，通常提供 10 nA 至 10 mA 的电流范围。选择了电阻量程，即选择相应的恒流源通过未知或标准电阻。然后使用数字多用表的直流电压功能并采用响应的量程设置测量电阻上产生的电压。从图 2 可以看出，电阻功能的准确度依赖于电阻电流源(提供电阻量程)和数字多用表的直流电压量程。电流的稳定度通常由数字多用表的直流参考电路控制。在这种情况下，参考的变化是电流源和电压检测所共有的，使得电阻测量准确度没有变化。但是，无论是电流定义电阻还是电压增益定义电阻的性能变化都将影响电

阻校准。所以，通常在直流电压功能之后测量电阻功能。当进行调节时，旧款数字多用表必须首先调整直流电压。请参考制造商的手册，确认校准过程中各项功能的互赖性。

对于高灵敏度高精度数字多用表，一般最好从高电阻量程开始校准，然后向下级量程。这将使测试线和数字多用表的内部电路具有较长的热稳定时间，电流源和电压测量电路可能分别工作在 10 mA 和 100 mV 。在任何情况下，都应该尽可能使用 4 线方法。必须考虑电压偏移的影响，除非数字多用表具有真欧姆功能。

电阻功能线性度测试

对于电阻功能准确度不超过 100 ppm ($4\frac{1}{2}$ 至 $5\frac{1}{2}$ 位分辨力)的数字万用表，可使用十进制电阻箱；但对于更高准确度的“高级”数字万用表，更加难以确定电阻线性度，除非可以选择适当精度的 4 端子电阻。直接测量电阻线性度的问题之一是各个电阻值的不确定度。例如，为了测量一台最大示值为 $19.000\text{ 000 k}\Omega$ 的 $7\frac{1}{2}$ 位数字万用表的 $10\text{ k}\Omega$ 量程的线性度，必需使用多个不同的电阻标准器。假设对整个量程内最少 5 个均匀分布的点进行测量，即 0 、 $5\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $15\text{ k}\Omega$ 和 $19.9\text{ k}\Omega$ ，显而易见很难找到合适的标准器。通常情况下， $10\text{ }\Omega$ ($25\text{ }\Omega$ 可能也有)、 $100\text{ }\Omega$ 、 $1\text{ k}\Omega$ 和 $10\text{ k}\Omega$ 等标准十进制值处有电阻标准器可供使用，不能均匀覆盖整个量程。



发生器强制电流 I_x 流过测试电阻。真恒流源产生的电流与其端子 (本例中为 H_i 和 L_o) 上的电压无关。因此, 如果将一个已知电阻施加到数字多用表并记录显示的值, 与 H_i 线串联接入一个附加电阻不应显著影响数字多用表的读数。这将确认电流源能够通过一系列电阻值提供相同的电流。

图 3. 数字多用表电阻转换器

考虑到有些数字多用表的电阻线性度指标优于 0.5 ppm, 而各个电阻标准器的不确定度可能为 1 ppm 或更高, 使用独立电阻或十进制电阻箱的方法将不足以胜任。

因此, 中、高准确度数字多用表的例行校准通常不测量电阻线性度。对于最高 5½ 位的较低准确度数字多用

表, 适合于电阻线性度测试的电阻校准器普遍可用。如果必须确定高准确度数字多用表的电阻线性度, 或者确认电路工作正常, 可考虑以下测试。

图 3 所示为高准确度数字多用表中使用的电阻测量电路配置。电阻功能主要是一系列可选的恒流源。恒流

如果也能够确认电阻测量中使用的直流电压量程(见图 2)也是线性的, 那么就有一种技术上合理的方法来确认电阻线性度, 而无需电阻线性度标准器。注意, 串联电阻不必是精密电阻 — 可以是一个低噪声电位计。

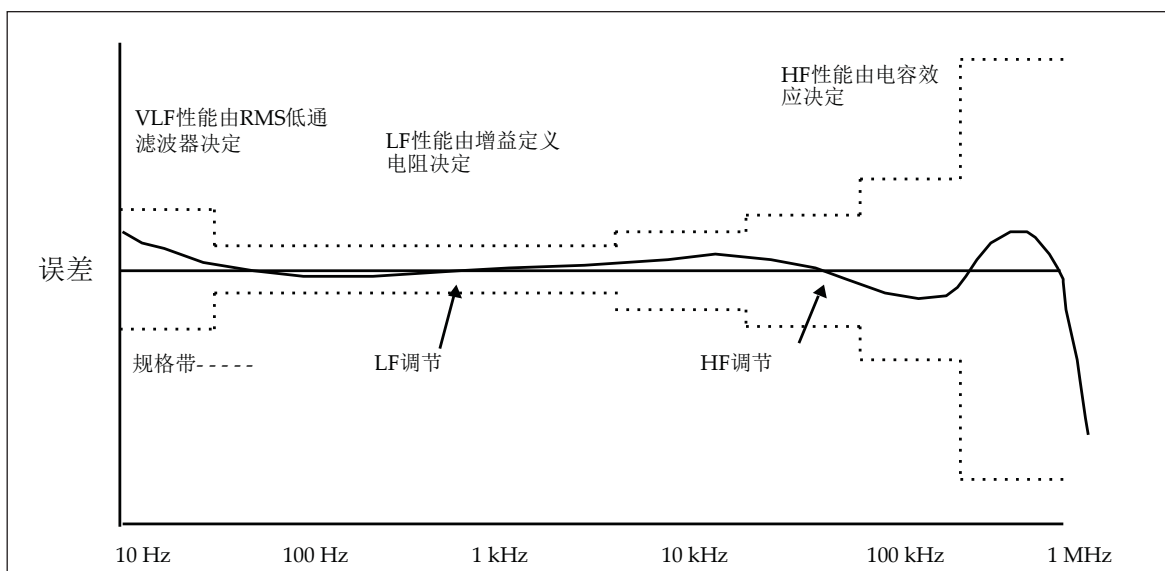


图 4. 数字多用表频率响应

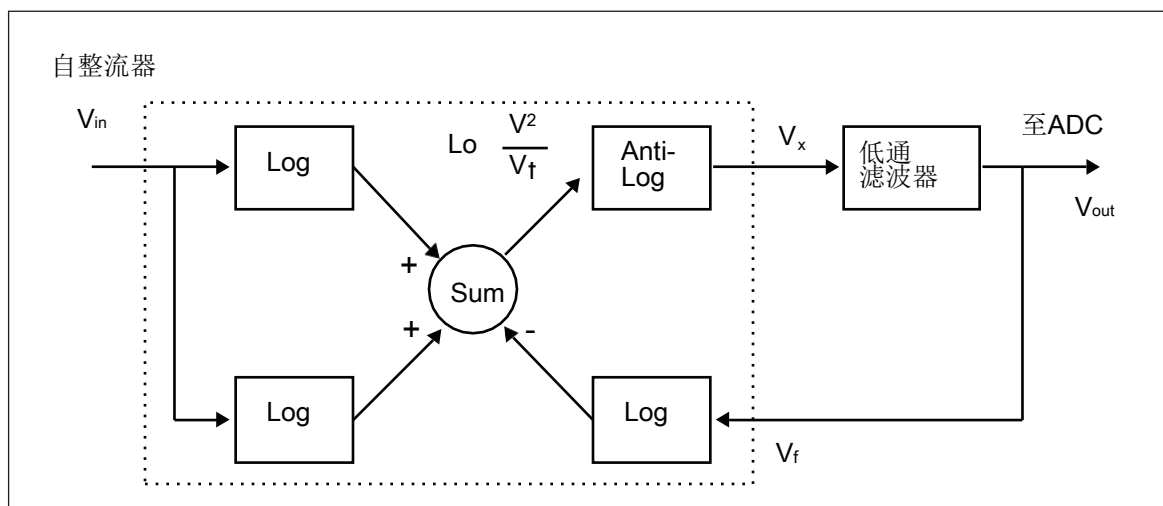


图 5. 对数反馈有效值转换器

交流电压校准策略

交流功能增加了频率。这就为每个幅值量程引入了附加测试点，使校准变得复杂。在典型数字多用表中，交流测量是由交流转换器完成的。该模块必须为从几个毫伏到 1 kV 的较宽范围的信号提供增益和衰减。数字多用表可达到 6½位、100 mV 量程，100 nV 分辨力。该分辨力仅对可能最低 1 mV 的输入电压有意义，低于该电平时，噪声和线性度误差极可能主导读数。限值因素很可能就是校准源的噪声，而非数字多用表。

数字多用表交流功能的增益将随频率变化。这被称为频率响应，要求在整个幅值量程内的关键点进行测量。在低频，比如 40 Hz 至 5 kHz，数字多用表的增益是由电阻网络、其交直流转换器和直流参考决定的；在高频，以电容为主的电抗效应将决定数字多用表频率响应的平坦度。可使用各种措施

微调频率响应，例如可变微调电容，或者软件控制调节高频增益。

数字多用表的制造商将推荐特定的调节点，这些点将补偿每个量程下的低频增益和频率响应。应严格遵守这些指导，因为其设计目的是在规定的频率范围内提供最佳的总体性能。图 4 所示为典型的响应和控制机制。

交流功能的基本量程通常为 1 V，通过对输入信号的增益或衰减得到其他量程。从图 2 可知，所有的量程都依赖于真有效值转换器。

真有效值转换器由精密整流器、对数和指数放大器组成，执行图 5 所示的功能。

该电路通过使用对数放大器，对信号的有效值进行模拟计算；对数放大器实际上是求输入信号的平方和平方根。乘法器的输出 V_x 具有直流纹波分量，通过将其应用到有源低通滤波器，对其进行平均(获得均值)。 V_{out} 还用于提供反馈信号 V_f ，该信号提供计算中的平方根项，

以及控制电路的增益，实现较宽的动态范围。低通滤波器决定仪器的低频响应。有些对数反馈数字多用表可工作在低至 0.01 Hz。

有两种校准调节是对数反馈真有效值检测器所特有的。第一种是翻转 (Turnover)，即调整精密整流器的增益，使输入信号的正半周和负半周完全相同；第二种是波分因子，该项可能受整流器的非对称性以及模拟乘法器的偏置排列的影响。模拟乘法器要求其半导体器件非常严格地匹配。为了达到这一目的，电路中可能有偏置调节，影响波峰因子性能。这些调节往往具有非常强的关联性，必须严格按照顺序执行，并且通常在调节各个量程增益之前进行。但是，例行校准时通常不必调整有效值电路。如果需要进行调整，且不要求调整前数据，可按以下顺序执行：

交流电压校准顺序

1 V 交流零点、±1 V 直流翻转*

波峰因子：(根据要求在 3:1 或 5:1)*

1 V LF 增益、1 V HF 增益、检查频率响应*

1 V LF 线性度、1 V HF 线性度*

100 mV 零点、100 mV LF、100 mV HF，检查频率响应*

10 V 零点、10 V LF、10 V HF，检查频率响应*

100 V 零点、100 V LF、100 V HF，检查频率响应*

1 kV 零点、1 kV LF、1 kV HF，检查频率响应*

*这些调整通常需要反复调整。遵守制造商关于调整顺序的建议。

注意，不同制造商推荐的方法可能会显著不同。在交流零点测量时，往往在数字多用表的输入上安装一个短路器；但是有些仪器将要求一个小的交流偏置电压，因为有效值转换器在零输入下不能工作。当数字多用表具有极低频率能力时，零点和增益测量可能需要相当长的时间才能稳定到其最终值，尤其是信号幅值发生较大变化后。

电流校准策略

数字多用表通过检测检流电阻或分流器上的直流或交流电压来测量电流。直流和交流电流使用相同的分流器。为了简化内部信号切换和最大程度减小分流器内部连接的阻抗，提供一对独立的端子。使负载电压尽量低是非常有利的，通常为 100 mV 左右。图 2 所示为链接在一起的电流量程。分流电阻与

检测电压的相应分接点串联。为了测量 0.1 mA，电流通过串联的所有分流器；对于特定的电流量程，选择的各个分流器的电阻值之和在指定电流下将产生 100 mV 电压。这就大大简化了电流切换，但也意味着，对于给定的任何电流量程，包含的所有分流器都将影响该量程的性能。了解分流器的互赖性有助于偏移和故障诊断。在分流器上产生的电压将被传递到直流或交流 100 mV 量程，取决于选择的是 DCI 还是 ACI 功能。

因此，直流或交流 100 mV 量程性能的变化也将影响电流量程。电流校准通常是校准的最后功能，原因很简单：在评估直流电流和交流电流量程性能之前，必须了解直流电压和交流电压性能。校准顺序通常如下所示，通过首先测量最低电流量程，能够最大程度减小热效应。注意，通常不交替切换每个量程的直流电流和交流电流功能，尽管可以这么做。注意，有些数字多用表不能独立调节交流电流量程，而是依赖于直流增益调节、分流器交流响应的平坦度和交流电压转换器的准确度。在这种情况下，必须首先调节交流电压和直流电流量程。

直流电流校准顺序

100 μ A 零点、+100 μ A、-100 μ A

1 mA 零点、+1 mA、-1 mA

10 mA 零点、+10mA、-10mA

100 mA 零点、+100 mA*、-100 mA*

1 A 零点*、+1 A*、-1 A*

*由于自热和热电效应，这些测量可能要求较长的建立时间。

交流电流校准顺序

100 μ A LF 增益、100 μ A HF 增益**

1 mA LF 增益、1 mA HF 增益**

10 mA LF 增益、1 mA HF 增益**

100 mA LF 增益、1 mA HF 增益**

1 A LF 增益、1 A LF 增益**

**有些数字多用表没有高频调节。

零点注意事项

所有直流功能都需要评估零点偏移，并在测量增益值之前进行补偿。一般情况，传递可溯源性的是增益值。这就说明，零点实际上仅仅是测量的一个基准。重要的是，所有直流测量都以已知的偏移状态为参考，但该状态不必一定是准确的 0。实际上，在正常室温下，很难得到真正的 0 伏特、安培或欧姆。考虑零点偏移时还应包括校准源，因为所有的源都具有残余偏移。从图 1 可以看出，偏移对所有读数的影响均为一个固定值。在校准数字多用表时，执行“系统”调零是极其重要的。系统调零意味着将数字多用表调零至校准标准器的零偏移。这将消除标准器的偏移对增益或满量程值测量的影响。对于电压测量，数字多用表应调零到源的“零”输出。对于电阻测量，数字多用表应调零至电阻(参考用户手册的说

明), 由此即可消除 Hi 和 Lo 电路中电压偏移的影响。电流测量要求数字多用表在开路状态下调零, 尽管有些校准源具有“零”电流输出, 数字多用表应调零至该输出。

制定测试计划

在考虑上述讨论内容及数字多用表的预期应用后, 应制定一个测试计划。计划必须确保满足仪器和用户的基本校准要求, 使用准确度足够高的标准器进行校准, 并检查仪器的功能和完整性。计划还必须考虑在仪器需要维修时需要采取的措施。根据是否怀疑或已知存在故障条件, 可能有两种策略。

例行校准(无维修)

- 是否报告了任何问题?
- 功能检查、控制, 等
- 测量基本直流和交流线性度
- 测量所有增益值
- 根据需要进行调节
- 检查电压/频率限值, 等*

*除非限制用途

必要时的附加要求*

- 根据需要调节 ADC
- 根据需要调节电源频率锁定
- 调节波分因子, 如适用
- 检查输入特性
- 检查 CMRR

*了解仪器设计和维修细节信息有利于计划的制定。

测量不确定度

对数字多用表校准影响最显

著的因素是测量不确定度。不确定度贡献及其组合的详细分析已经超出了本应用笔记的范围, 但有必要确定不确定度源。

不确定度来源

- 标准器的不确定度
- 数字多用表的分辨力
- 数字温度表的时间和温度短期稳定性
- 标准和数字多用表的组合噪声
- 校准程序

校准标准器必须具有足够的准确度, 能够可靠校准数字多用表。有些制造商将数字多用表的技术指标分为两部分: 校准不确定度和仪器的相对准确度。如果可用的校准不确定度大于(较差)规定的校准不确定度, 那么数字多用表的总体准确度指标将不再适用。有时候引用测试准确度比(TAR)作为一项要求, 例如 TAR 为 4:1 时则要求标准器的准确度比数字多用表的指标好 4 倍。这是为了保证标准器的残差不会显著影响数字多用表的校准准确度。在理想情况下, TAR 适用于所有测量 — 包括国家标准实验室。但是, 如果已经确定并修正了所有误差源, 并已经进行了合理的不确定度分析, 在该层面上是不切实际的, 甚至是不必要的。当没有应用修正, 或者没有规定校准准确度要求时, 则 TAR 适用。

数字多用表的分辨力或标度长度决定能够观察到的读数的最小变化。显而易见,

这可能称为测量的限值因素, 无论校准标准的准确度有多高。假设校准 1 V dc, 在相同条件下, 标度为 1.000 000 V 的 6½位数字多用表可解析 1 μV 或其标称量程的 1ppm, 而 4½位数字多用表只能解析 100 μV 或 0.1 %。

数字多用表(以及校准标准器)的时间和温度短期稳定度也将影响测量的不确定度。此时占主导地位的通常是数字多用表的温度系数和校准环境的稳定度。缓慢漂移一般不显著, 除非校准需要几个小时的时间或仪器存在缺陷。从制造商的技术指标, 通常可获得温度系数和短期稳定度。

一项更重要的不确定度贡献往往是噪声或数字多用表读数在测量期间的跳动。如果可以观察到各个读数, 并且噪声主要为随机噪声, 则可计算得到读数的样本标准差, 并作为组合噪声的不确定度贡献。重要的是, 数字多用表的配置代表了该测量的一般使用情况。

最后, 校准程序本身将影响测量不确定度。较差的测试顺序、不充分的建立时间或较差的互连技术都将引入附加误差, 且容易被操作人员忽视。因此, 在校准数字多用表时, 应严格遵守制造商推荐的程序。注意, 这也适用于校准标准器。如果进行不确定度分析时需要进一步的读数, 建议学习一下关于测量不确定度评估方面的指南。

总结和建议

高等级数字多用表的校准在

技术上可能非常具有挑战性，但如果准备充分、了解技术并对过程进行全面控制，将可以获得极大的满足感。然而，有效支持和校准此类数字多用表所需的标准器可能非常昂贵，如果校准的设备数量较少，可能会不划算。所以，如果对当地可用的设备或专业知识有任何疑问，则应该充分利用制造商的校准服务。

附录 1 — 数字多用表术语

本附录给出数字多用表厂商常用的一些术语的定义。斜体文字表示相关的术语。

功能 — 数字多用表的功能选项，例如直流电压、交流电压、频率等。也适用于比率/通道切换或运算和统计功能。

量程 — 数字多用表的测量能力分为多个量程，使得输入信号可缩放至与其直流电流或有效值转换器相适应的水平。典型量程有交流或直流 100 mV、1 V、10 V、100 V、1 kV，10 Ω、100 Ω、1 kΩ、100 kΩ、1 MΩ、10 MΩ、100 MΩ、1 GΩ，交流或直流 100 μA、1 mA、10 mA、100 mA、1 A，有时候还有 10 A。有些数字多用表的量程以 3 为步长。

分辨力和显示位数 — 一种说明数字多用表能够显示多少数字的方法。分辨力为位数，例如 1.000 000 V 为 6½ 位显示，其中 ½ 位表示“1”，在小数点之后有 6 个位置。标度长度是任意量程可用的最大读数，例如在 1 V 量程，在指示过载之前可用的最大

读数可能为 1.999 999 V。最低量程的最大分辨力为灵敏度。

线性度 — 基本上，线性度说明仪器的 ADC 响应如何随被测信号的幅值变化。请勿将该概念与功率系数相混淆，后者衡量的是电阻衰减器中自热效应和互热效应。

零点或偏移 — 所有直流测量均受剩余偏移的影响，偏移可能达到几伏特、安培或欧姆。但是，(在数字多用表校准中)非常大幅值的偏移是非常罕见的。

典型偏移为几 μV、μA 或 μW。电压测量中，在数字多用表的电压输入端子上连接一个铜短路器，将得到准确为 0 V 的读数。但是，由于数字多用表的内部电路和电子器件中使用异金属，由此造成的热产生偏移，导致较小的电压偏移，可能达到几十 μV。此类偏移在受控环境下通常是相对稳定供电，大多数数字多用表具有某种形式的偏移补偿或输入调零功能，可用于消除这些偏移。消除测量中的偏移效应非常重要，否则将会在整个测量量程内引入一个固定误差(可能达到几伏特、安培或欧姆)。

频率响应 — 传统上，频率响应被解释为 -3 dB 点，即一个高频点，在该点时，读数下降至其标称低频值的 70.7 %。制造商可能采取各种不同的硬件和软件，对响应进行调节，使得 -3 dB 点尽可能高。这可能导致低频出现有害的峰值和谷值。一

个更有意义的响应指标为平坦度。平坦度衡量的是特定频带内相对于假设平坦响应的偏差，可表示为 ppm 或 %，而不是 dB。根据所使用的有效值转换技术的不同，数字多用表的交流响应可能会发生低频问题以及高频滚降。

输入电阻 — 输入电阻表示数字多用表对测试电路的潜在负载效应，所以非常重要。对于高达 20 V 的直流电压，输入电阻可能大于 10¹² Ω，是使用反馈和 FET 器件的结果。注意，有些数字多用表的直流电压功能具有显著的输入电容。

在高达 1 kV 的较高电压时，接入衰减器，将施加的电压降为 10 V 或 1 V。衰减器的电阻通常为 10 MΩ。对于交流电压，输入电阻一般较低 — 通常为 1 MΩ 与 150 pF 并联。注意，在较高频率下，输入阻抗将降低。

输入偏置电流 — 放大器通常设置为高增益、高带宽、高输入阻抗、低输出阻抗和低输入电压偏移。但是，所有双极性半导体器件本质上都是基于电流工作的。也就是说，这些器件要求输入电流将其“偏置”到其工作曲线的响应(通常为线性)部分。即使是场效应器件，也可能呈现一定的内部漏电流，返回至其电源。高灵敏度数字多用表通过选择元件和严谨的电路设计，最大程度降低此类漏流。但是，不可避免地存在一定的剩余输入电流，如果不采取预防措施，将流入到外部测量电路。如果 1 μA 的小电流通过 1 MΩ 电阻，

将产生 1 V 电压；1 MΩ 电阻中的 10 pA 电流将产生 10 μV 电压。现代化高灵敏度数字多用表的输入偏置电流有望小于 50 pA。

顺从性 — 表示数字多用表的电阻转换器的(通常为恒流)电流源能够产生的最大电压，且电流不发生显著变化。是数字多用表和被测电阻之间能够允许多大线组的一个指标。

波分因子 — 数字多用表的交流转换器的峰值与有效值之比。纯正弦波的波峰因子为 1.414:1，方波的波峰因子为 1:1。理想情况下，数字多用表应显示施加到其有效值检测器上的任意波形的“真”有效值。

当数字多用表的交流信号通路采用放大器和保护电路时，高波峰因子信号的峰值可能被箝位，导致畸变信号被施加到有效值转换器。具有高波峰因子的能力是非常有利的。实际能力可能随数字总幅值与多用表的标称量程及内部电源电压的关系而变化。当出现波峰因子问题时，可以选择不太敏感的量程，从而不会发生更多的信号畸变。

共模抑制 — 表示数字多用表如何响应特定类型的干扰(有害)信号。干扰可能是交流或直流。如果某个电压同时施加到运算放大器的两个输入(共模)，并相对于放大器的电源变化，则其输出信号不应发生变化。实际应用中，由于放大器内部补偿级的增益随幅值发生小幅变化，

输出将存在变化 — 实际输入为共模电平。高质量数字多用表的放大器采用特殊电源，“跟踪”或跟随输入电压变化。因此，在整个工作范围内，放大器输入与其电源之间的电压差保持恒定，由此即可消除差分增益随幅值变化。另一个例子是，Lo 输入和电源地之间存在泄漏。在这种情况下，通过严谨的接地技术减少有害的对地泄漏的影响，从而减小共模误差。**Guard (保护)**可有效转移干扰电流，使其不通过 Hi 或 Lo 信号通路，因此就不会由于通路中涉及的阻抗和泄漏而产生有害电压。共模抑制比(CMRR)表示为 dB，通过在数字多用表的 Lo 输入连接上串联一个 1 kΩ (源不平衡)电阻，同时改变施加的输入电压进行测量。

串模抑制 — 表示数字多用表如何响应非两路输入所共有的干扰信号。这一般意味着有用的直流电压信号上叠加有有害的交流信号。通过各种类型的信号调理或滤波，将该信号消除。滤波可以是模拟式(使用由 RC 网络组成的模拟无源或有源电路)或数字式(积分抑制陷波或对多个读数进行平均)。积分抑制陷波同步 ADC 的输入积分时间，从而使转换循环锁定到电源频率。在一个或多个完整的电源周期内对输入电压进行积分，实际上将所有电源频率含量积分为零。电源频率锁定是一种非常有效的降低电源相关噪声的方法。但必须谨慎，当电源频率可选时，电流通过测试电阻，电压测量保证锁定到正确的电源频率，例如 50 Hz 或 60 Hz。

Guard — **Guard (保护)**是一种用于拦截和转移或控制泄漏电流的电路。**Guard**可以是无源的，只是一个导电的屏蔽网或敏感元件和电路周围的外壳；也可以是有源的，放大器主动检测和控制屏蔽网电势。无论哪种情况，**Guard**都连接至定义的点或电势。往往通过 4 mm 接线柱端子与保护进行连接。电气上，**Guard**电势位于接地和(通常) Lo 输入端子之间。当电网供电的仪器连接在一起时，循环漏流可能流经各自的电源与输入线连接形成的“环路”。与电网的连接完成了“环路”。此类电流在敏感测量中通常表现为噪声较大或夸张的读数；通过将数字多用表的“**Guard**”连接到“源”仪器的“**Earth**”端子(非直接连接到地)，可将其消除。为了保证 **Guard**有效工作，必须使用“远端”配置。这是通过本地/远端 **Guard** 开关或短跳线实现的。无论哪种情况，本地 **Guard**通常将数字多用表的 Lo 和 **Guard** 端子连接在一起。

4 线电阻 — 用于最大程度降低连接线电阻的影响的测量技术。在 4 线电阻测量中，使用独立的线对连接电流和电压电路。理想情况下，高灵敏度测量数字多用表应利用恒流源输出测试电流，输出阻抗足够高，使得通过电阻的电流与其两端的电压无关。此外，电压测量电路应具有低输入偏置电流和足够高的输入电阻，使全部测试电流通过测试电阻，电压测量保证锁定到正确的电源频率，试线中没有电流。在这些条件下，测量将不受连接线阻

的影响。由于电源的限制，最大线阻是有限值的，任意或全部连接线的电阻可能为 100 Ω 左右。

真欧姆 — 在高灵敏度电阻测量中，将剩余电阻与剩余电压偏移隔离开可能非常困难。有多种方法可以用来确定并消除电压偏移。其中一种方法，也是高准精度电阻桥中有时使用的方法，是进行两次测量，在第一次中测试电流按正常方向通过电阻，然后第二次测量中将电流极性反向。简单的电压偏移将加到一个测量值，以及从另一个测量值中减去。因此，偏移的影响将被抵消。数字多用表中通常不采用电流反向，而是使用一种称为真欧姆的技术来循环打开或关断测试电流。在数学上，将电流关断时的测试电阻上的剩余电压从电流打开时的电压中减去，从而提供修正偏移后的读数。严格控制循环时间意味着也可消除动态(变化)偏移的影响。当测试电阻具有显著的时间常数时，真欧姆功能可能无效。因此，其作用通常仅限于小于 10 k Ω 的值。

真有效值 — 在高准确度交流电压测量中，最能说明幅值含义的指标是有效值(rms, 方均根)。传统上，这基于能够实现等效或有效热功率或功。这是通过热转换器实现的，有些数字多用表将该技术用于交流测量。但是，热转换器不适用于所有应用，所以人们开发了电子 RMS 转换器。这实际上是使用对数和反对数(指数增益)电路

同时对信号执行平方和平方根，以模拟方式计算信号的 RMS 值，然后利用平均滤波器提取均值，从而提供信号的真有效值。创造术语“真有效值”的目的是区分现代化 RMS 检测仪器和旧式或低成本数字多用表，后者采用平均测量方法，但经过调解后指示 RMS 值。该方法假设被测信号为完美的正弦波。

如果测量非正弦波，数字多用表的读数将不正确。

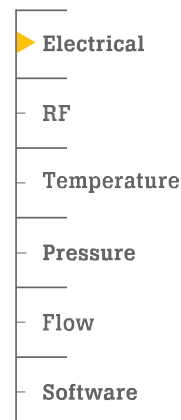
校准不确定度 — 可溯源至国家和国际标准器的(任何类型)校准标准器的总不确定度。不确定度将包括校准过程中数字多用表的贡献。

相对准确度 — 数字多用表相对于但不包括校准标准器的准确度。该术语可能具有误导性，实际上是衡量仪器的时间和温度稳定度、线性度、平坦度和噪声的指标。一般而言，这些参数与校准不确定度无关。

总体准确度 — 不确定度和相对准确度贡献的组合。在技术指标中，该组合可以是两项的简单数学求和，也可以是特定置信度水平下的更复杂方和根(RSS)组合。

福禄克计量校准部

Precision, performance, confidence.™



Fluke Calibration
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

更多信息请致电:

In the U.S.A. (877) 355-3225 或
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 或
Fax +31 (0) 40 2675 222
In Canada (800)-36-FLUKE 或
Fax (905) 890-6866
其他国家或地区: +1 (425) 446-5500 或
传真: +1 (425) 446-5116

网址: <http://www.fluke.com>

©2011 Fluke Corporation.
技术指标如有更改，恕不另行通知。
美国印刷。3/2011 3988747A A-EN-N

未经 Fluke Corporation 书面许可，不得
篡改本文内容。