

## 利用高精度标准数字多用表代替模拟检零器

模拟检零器或指零仪很早就已被用于电学计量之中，以测量两点之间的小电压差或探测零电流条件，即两点处的电压相同。其中可能，也包括比较和测量标准器与被测设备之间的电压差，例如通过直接或借助分压器与仪器连接，来比较两个原器标准或比较原器标准与二级校准标准。凭借检零器测量到的微小电压差，即可通过调节标准器，使两点或两台仪器之间实际上没有电压差。调零电压的能力或零条件对于电学计量来说至关重要。

当高精度数字多用表的分辨率和灵敏度可与检零器相媲美时，被迅速采用，而检零器被搁置一边。但若未考虑测量电路和数字多用表自身的一些特性，这个测量可能产生明显的测量误差。当将数字多用表用作检零器时，有哪些因素需要考虑，是本文讨论的重点，这确实很重要，因为新型数字多用表的改进可减轻上述问题的某些影响，然而，在任何情况下都需要理解和适当地考虑注意事项。

自20世纪60年代以来，商用电压和比率校准系统就可以校准直流电压，范围从非常低的电平(毫伏量级)到相对较高的数值(高达1千伏)不等。这些系统的关键



组件是高阻抗模拟电压表/指零仪。这些仪器拥有极高的输入阻抗(10至100M $\Omega$ )，优秀的灵敏度(0.1 $\mu$ V/格)和高隔离度(大约 $10^{12}\Omega$ )。

Fluke 845系列高阻抗电压表检零器的设计，基本上避免了泄漏引起的源负载，包括电源线、外壳地和保护连接。输入电压通过输入分压器和滤波电路施加至光斩波稳定放大器。输入滤波器最大程度降低输出噪声的影响，光斩波稳定放大器将输入电流减小至几皮安。845AB可由电池供电，从而与交流电源完全隔离，提供用于指零操作的模拟输入，并且具有良好的测量响应时间(5秒，1 $\mu$ V量程)，总体来说使用简单。

## 高精度数字多用表简介

高精度数字多用表在19世纪70年代中后期开始用于计量学，成为直流和低频交流电学计量的主要测量工具。还有一个好处是，它们易于使用，具有多种功能且易于实现自动化。某些应用中，该设备可以轻松取代检零器，但是其直流输入放大器并没有完全匹配检零器特性所需的高级设计。在某些关键方面，其具有非常严重的缺陷，其中一个关键领域是仪表的输入偏置电流。

## 偏置电流相关误差

在数字多用表输入中使用的设备，诸如运算放大器的非理想因素之一是输入偏置电流。这是电流从放大器流经数字多用表输入端子时出现的情况。数字多用表采用CMOS放大器，可大大地降低这种影响，但是仍然存在皮安级的输入偏置电流。在测量电压源的输出电压时，由于电压源内部有串联的源阻抗，如果这个源阻抗很小，因输入偏置电流产生的偏移电压可忽略不计。尽管该偏移与被测电压串联，但实际上它没有任何有害影响，因为其仅为几纳伏。

但是，在某些测量配置中，被测电压源具有较大的源阻抗（数万欧姆），由于偏置电流就会导致几微伏的偏置电压。该偏移直接与被测电压串联，如果将数字多用表用于此类应用中的关键测量，

这种偏移误差必须予以处理，否则，很容易导致尝试进行的电压测量超出合理范围。需要注意的是，使用检零器时这种偏置电流特性不是关键因素，从来都不是需要处理的问题。但使用数字多用表代替检零器时，需要通过额外测量步骤来补偿和消除偏移电流造成的误差。

## 分压器的使用

电学计量常采用原器级的电压标准器来建立溯源性，作为基准电压和工作级水平的电压测量标准一起来校准工作用电压校准器。由于当今电压标准器通常为10伏电平，而工作用电压校准器的输出范围从几毫伏到上千伏不等，因此需使用分压器来简化校准器与10伏标准器之间的相互比较。例如，将电压校准器100V输出降低10倍，创建10V电平，以与10V工作基准进行比较。另一个例子是以





非十进制电压(例如1.9V)校准高精密度电压表。要产生上述测试所需的精准电压,可以按0.19比率对10V电压标准器进行分压,以产生1.9V电平来校准仪表。从上述示例中可以看出,比率必须既是十进制值,即10的倍数(1:10、1:100、10:1和100:1),也可是其他可变数值——例如从0.999999到0.000001。广泛应用的此类分压器,有固定比率的标准器,例如Fluke 752A型参考分压器,也有可变比率的标准器,例如Fluke 720A型开尔文-瓦利分压器。要进行上面提到的宽广电压范围的校准,需要用以上设备把一个电压分压以匹配第二个所需的电平电压。

计量专家必须检查或调整分压器,以确保其具有适用于预期校准的正确比率。这些分压器在使用之前还必须调节平衡,而这种平衡需要利用检零器或指零仪方式的测量来调整和确保正确比率。

### 因数字多用表偏置电流导致分压器平衡误差

常用的固定比率或可变比率标准器为电阻分压器。当分压器达到平衡时,两个平衡点之间始终会存在电阻。该电阻通常约为25k $\Omega$ 至40k $\Omega$ 量级。因此,当最大偏置电流为50pA时,分压器会产生几微伏的偏移电压。利用上述分压器的计量测量通常测量零伏到零点几微伏的电压,因此,上述偏置电流偏移会产生严重影响。

幸运的是,福禄克的计量专家已经开发出消除上述误差的技术,详细介绍请参见下述应用文章。这些文章的更新版本可参见福禄克计量校准部官网,您可以参考这些文章以获取使用高精度DMM代替检零器的完整详细信息。

- 利用福禄克计量校准部8588A代替模拟检零器实现Fluke 720A自校准
- 在计量应用中使用数字多用表来代替模拟检零器

## 偏置电流偏移电压的推荐解决方案

修正该偏置电流问题的方法之一是正确选择用于平衡和检零器测量的的数字多用表。不同的数字多用表具有不同设计，其偏置电流情况也有所不同。

**a. 使用新设计的数字多用表：**自19世纪70年代以来，高精度数字多用表设计有放大器电路，其偏置电流高达50pA。而新型的福禄克计量校准部标准数字多用表(8588A和8558A)的偏置电流明显更小，最大仅为20pA。最初测试时，该偏置电流还被调整为几乎为0pA。这实际上消除了输入偏置电流导致的偏移电压问题。并且，随着时间的偏移，偏置电流的变化很小，因此在未来很长一段时间内都将保持在该水平附近。

**b. 确定偏移并对其进行修正：**初始平衡过程中，在将数字多用表连接至分压器并根据测试进行配置之初，在施加任何外部电压源之前，将分压器的电压输入端子短路，并在数字多用表上观察是否存在任何偏移。如果测得任何电压，都是因为偏置电流通过分压器源阻抗引起的。如果指示存在任何偏移，请观察该偏移是否相对来说无噪声，以及随时间推移是否稳定。如果其既稳定又没有过多噪声，则可以通过数学方式将其从平衡测量中消除。可通过在数字多用表上进行测量偏移修正，以数学方式消除偏移。

**c. 拒绝具有不稳定偏置电流的数字多用表：**精密数字多用表可以很好地用于一般计量测量。但是，其中有一小部分仪器具有较大的测量噪声或不稳定的偏置电流，这些仪器将无法用于分压器的平衡操作。

**d. 许多福禄克计量校准部的数字多用表都具有可接受的偏置电流：**大部分福禄克计量校准部的标准数字多用表在制造过程中都会进行调整，以实现小的偏置电流。因此，您将看到实际偏置电流仅占其最高技术指标的一小部分。所示偏置电流为5pA或更低时，在上述偏移测试中不会出现可测量的偏移。

**e. 定期针对偏置电流进行测试：**应该注意的是，数字多用表的偏置电流可能会随着时间的推移缓慢变化。定期测试数字多用表的偏置电流特性，或者如果其不经常用于平衡，则在使用前进行测试，以查看偏置电流是否仍然可以接受。



## 总结

与上一代8508A型标准数字多用表一样，福禄克计量校准部8588A型和8558A型标准数字多用表是模拟检零器的合适替代产品。当然，对仪表输入端子发出的电流进行适当修正可能仍然是必要的。在将任何其他数字多用表用作检零器之前，必须考虑输偏置电流和其他电流源对电路的影响，以确定或消除其产生的误差。

### 福禄克公司 计量校准部

中文网址：[cn.flukecal.com](http://cn.flukecal.com)

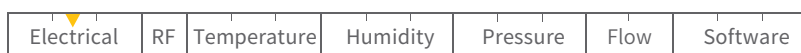
英文网址：[www.flukecal.com](http://www.flukecal.com)

福禄克中国客户服务中心热线：400-810-3435

福禄克中国维修客服中心热线：400-921-0835



**Fluke Calibration.** Precision, performance, confidence.™



由于产品会不断改进，因此此处的技术指标如有更改，恕不另行通知。  
本文中介绍的产品受美国和国际专利法的保护。