

如何正确校准数字多用表

刘国琨

技术支持高级经理

福禄克公司计量校准部(中国)

电话: 010 5735 1382

手机: 13910803332

电子信箱: guokun.liu@fluke.com

- 手持式数字多用表的特点
- 手持式数字多用表的一般校准方法
- 根据数字多用表技术指标，计算校准点的误差或上下限值
- 如何报告校准不确定度
- 应用自动校准软件：自动校准，自动报告校准不确定度

数字多用表应用非常广泛

- 有手持式和台式

本次主要讨论手持式数字多用表

- 多功能，多量程

- DCV, ACV, DCI, ACI, Ω

- 频率, 周期, 电容, 电感, 温度...

本次主要讨论DCV, ACV, DCI, ACI
 Ω

- 3 ½位- 8 ½位数字显示

本次主要讨论3 ½位-5位的数字表



数字多用表的位数及其意义

FLUKE®

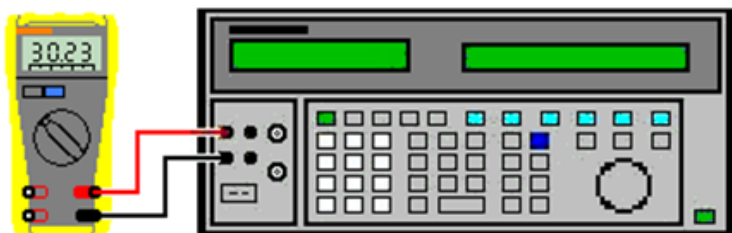
Calibration

- 数字表的位数：3位半、4位、4位半、5位、5位半、6位半…
 - 什么是4位半数字多用表？有五位数字显示，首位数字是1或0的数字表俗称 四位半数字表
 - 专业的说法是表示数字多用表的满码数，
 - ❖ 如： 40,000码 显示值为 0 ~ 39,999
 - ❖ 如： 200,000码 显示值为 0 ~ 199,999
 - 满码数越大，分辨率越高，每个字代表的电量就越小
- 数字表的位数表示出仪器的分辨率，不能说明仪器的准确度
高分辨率的数字表一般准确度都较高，单纯的高分辨率没有意义



校准的主要步骤

- 根据被测仪器的准确度确定需要的校准器
- 根据被测仪器的量程覆盖要求确定校准测试点
- 根据被测仪器的准确度确定测试点的上下限值
- 一步步完成各点的测试，记录测量结果
- 打印校准证书



校准证书

资产号:	123	校准日期:	2011-2-18 14:54:52
制造厂:	Fluke	校准结论:	是
型号:	15	证书号:	
仪器名称:	数字多用表	校准规程/规范:	
系列号:	545 6321	温度:	23.0 °C
校准间隔:	12	相对湿度:	35 %
间隔单位:	M		

<Add the name of the calibration lab here> 除非另外说明, 本仪器满足或者超过了所用校准程序规定的技术指标。校准过程所用的测量仪器都已溯源至国家计量院, 或者是可以自校准的比率装置。校准程序符合 ISO-STD 17025的要求。

校准标准

制造厂	型号	仪器名称	系列号	校准日期	校准过期日
Fluke, 77		DMM	3211234343	2011-2-14	2012-2-14

校准结果

测试说明	名义值	读数	下限	上限	误差	通过否
直流电压2.2V量程	1.9 V	1.902 V	1.881 V	1.919 V	0.105 %	通过
	-1.9 V	-1.903 V	-1.919 V	-1.881 V	0.0	通过
直流电压测试: 12V量程	10 V	10.023 V	9.9 V	10.1 V	0.23 %	通过
直流电压测试: 120V量程	100 V	100.23 V	99.0 V	101.0 V	0.23 %	通过
交流电压测试: 1.2V量程	1 V	1.0023 V	0.98 V	1.02 V	0.23 %	通过

数字多用表的一般校准方法

- 数字多用表一般用校准器校准

- 校准器可以输出标准的交直流电压，交直流电流和电阻

- 常用的校准器有：

- 5080A, 9100, 5500A/5502A, 5520A/5522A, 5700A, 5720A

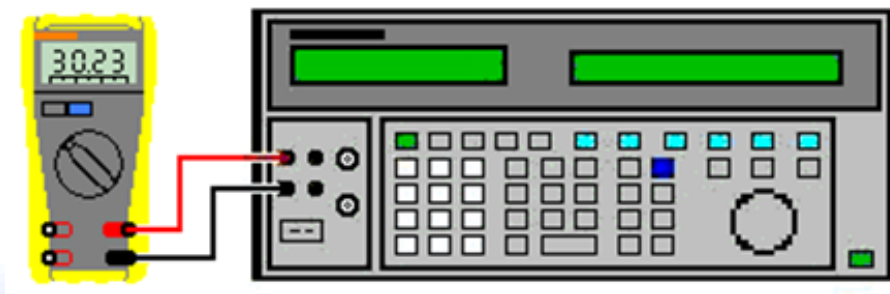
- 以上校准器准确度从低到高，有很大不同

- 5700A和5720A由于价格较高，很少用于手持式数字表的校准

- 5502A是5500A的升级产品， 5522A是5520A的升级产品

- 应该根据被测数字表的准确度选择校准器

根据国际和国内有关规定，被测仪器和校准标准的测量不确定度比率要大于 3:1



适合手持式数字多用表的校准器

FLUKE®

Calibration

- 5522A、5502A和5080A是目前最适合的校准器
 - 5522A可以校准至6 ½位的各种数字多用表
 - 5502A可以校准至5 位的各种数字多用表
 - 5080A可以校准3½位及部分4½位数字多用表
- 它们都可以全面覆盖手持式数字表的主要功能和量程范围
 - 交直流电压 0~1020V
 - 交直流电流 0~20.5A
 - 电阻 0~1100MΩ (5522A、5502A)
 - 19支离散电阻 (5080A)
- 它们都具备良好的自我保护能力



确定各功能校准的顺序

- 许多数字多用表使用旋转开关
- 要根据转盘的旋转顺序确定校准的顺序
- 避免校准时来回旋转转盘, 多次换接端子
- 例如, Fluke 175 的校准顺序为:
 - 交流电压
 - 直流电压
 - 直流毫伏
 - 电阻
 - 导通测试**——**简单测试**
 - 交直流毫安电流 (小于400mA)
 - 交直流 10A 电流
- 接线端子: COM 公共端, V Ω 端,
400mA, 10A



确定各个校准测试点

- 各个功能分别设置测试点
- 根据被测仪器的量程覆盖要求确定校准测试点
- 全部测试点要能够反映出仪器的计量特性
 - 零点偏移：可以在结果中扣除
 - 线性度：一般变化很小
 - 增益变化：最重要，需要定期考核

应尽量减少不必要的测试点，提高校准效率

- 同一功能中，一般只检查基本量程的线性度
 - 灵敏度低的量程和交流功能各量程都不必检查零点偏移
- 例如： 直流电压 100V, 1000V量程一般不必检查零点偏移

确定各个校准测试点

例如：某数字表直流电压功能读数

校准器输出	数字表读数
0.000000V	0.0008V
3.000000V	3.0038V
5.000000V	5.0058V

可以看出，该数字多用表直流电压的本量程

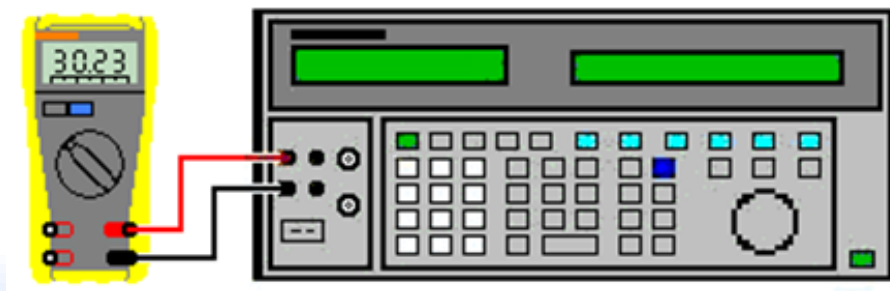
—零点偏移 0.0008V，使得所有读数都多了0.0008V

—归一化增益变化 0.1% $(5.0058V - 0.0008V) / 5V - 100\% = 0.1\%$

—线性度优良

$$(3.0038V - 0.0008V) / 3V - 100\% = 0.1\% \quad \text{与5V时一致}$$

一个量程至少需要测试三个点
才能考察出这三项性能

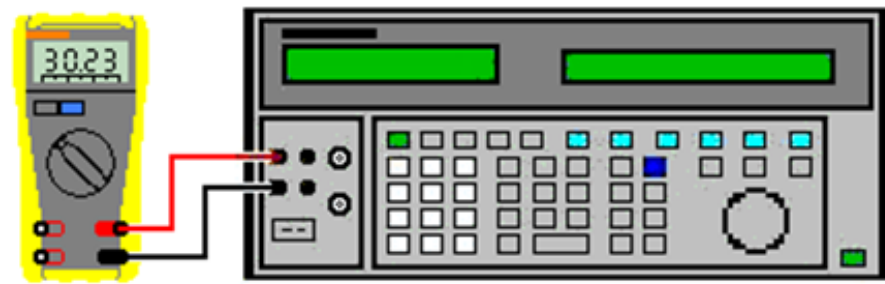


数字多用表的一般校准方法

校准时，

- 校准器输出标准的交直流电压，交直流电流和电阻
- 数字多用表测量校准器输出的标准信号
- 根据数字多用表的读数确定是否合乎指标，两种判别方法：
 1. 根据误差大小判断是否在仪器允许误差范围之内
 - 需要知道在测量点的允许误差
 2. 判断读数是否在该测量点的上下限值范围之内
 - 需要知道在测量点的上下限值

完成一个测试点后，接着进行下一个



数字多用表准确度的表示方法

手持式数字多用表的准确度一般用最大允许绝对误差表示：

$$\Delta = \pm(A+B)$$

其中： A 为比例项误差： $a\%$ 读数

B 为固定项误差： n 字

例如： $\Delta = \pm(a\% \text{ 读数} + n \text{ 字})$

这里的“字”表示数字多用表在确定量程显示值的最低有效位所表示的电量值。

例如： 1.999V 量程时 每字为 1 mV

3.9999k Ω 量程时 每字为 0.1m Ω

也有的表示为：

$$\Delta = \pm(a\% \text{ 读数} + b\% \text{ 量程}) \quad \text{常用于台式表}$$

其中： $b\%$ 量程 为固定项误差 = $b\% \bullet$ 该量程满度值

确定校准测试点的上下限值举例

- **Fluke 175 直流电压6.000V量程年指标:** (每个字为 1mV)

$$\Delta = \pm (1\% \text{读数} + 3\text{字})$$

测量3V 时的允许误差:

$$\Delta = \pm (1\% \bullet 3V + 3mV) = \pm 33mV \quad \gamma = \pm 33mV / 3V = \pm 1.1\%$$

$$\text{校准上限值} = 3V + 33mV = 3.033V$$

$$\text{校准下限值} = 3V - 33mV = 2.967V$$

测量1V 时的允许误差:

$$\Delta = \pm (1\% \bullet 1V + 3mV) = \pm 13mV \quad \gamma = \pm 13mV / 1V = \pm 1.3\%$$

$$\text{校准上限值} = 1V + 13mV = 1.013V$$

$$\text{校准下限值} = 1V - 13mV = 0.987V$$

逐点报告校准不确定度分析

FLUKE®

Calibration

评估校准不确定度是计量校准的重要工作内容

- 报告测量不确定度就是表明校准的能力

- 标准的准确度是否足以校准数字多用表

- 在当测试比率 **TUR** 小于 **3:1** 时，必须报告校准不确定度

- 例如：福禄克公司5522A出厂校准证书

AC Voltage Output/Frequency	测量值 Measurement	偏差 Deviation	不确定度 Uncertainty	90天指标 TUR 90 Day Spec
33 mV, 45 Hz	33.000 mV	0.000 mV	4.4E-03 mV	0.013 mV 2.95
33 mV, 10 kHz	33.000 mV	0.000 mV	3.8E-03 mV	0.013 mV
300 mV, 9.5 Hz	299.960 mV	-0.040 mV	3.0E-01 mV	16.650 mV 55.5
300 mV, 10 Hz	299.960 mV	-0.040 mV	1.3E-02 mV	0.083 mV
300 mV, 45 Hz	299.999 mV	-0.001 mV	8.9E-03 mV	0.050 mV
300 mV, 1 kHz	300.000 mV	0.000 mV	7.3E-03 mV	0.050 mV

测试33mV，45Hz时，虽然 **TUR = 2.95 < 3**，但是由于测量偏差为零，可以保证这个测试点的准确性。

校准不确定度主要由两部分组成

• A类不确定度

- 数字多用表测量重复性或读数跳字
- 在校准许多手持式数字多用表时，如果使用优良的校准器，大多数读数都非常稳定，可以不计算这一项。
- 在测试高阻值电阻、交流小电压、交流小电流时才有可能需要计算此项

• B类不确定度

- 校准器的准确度指标
- 数字表的分辨力有限带来的 $\frac{1}{2}$ 字的影响，
- 引线影响，环境温度影响，热电势，噪声，负载影响...等等。

在标准实验室条件下校准，一般使这些影响可以忽略。

校准器5522A 技术指标解读

- ACV 0.33V~3.299999V, 45Hz~10kHz 年不确定度指标:

$$U_{99} = 0.015\% \text{ 读数} + 60\mu\text{V} \quad (99\% \text{置信水平})$$

计算输出1V 时的不确定度:

$$U_{99} = 0.00015 \bullet 1\text{V} + 60\mu\text{V} = 210\mu\text{V}$$

$$U_{99\text{rel}} = 210\mu\text{V}/1\text{V} = 0.021\%$$

计算输出3V 时的不确定度:

$$U_{99} = 0.00015 \bullet 3\text{V} + 60\mu\text{V} = 510\mu\text{V}$$

$$U_{99\text{rel}} = 510\mu\text{V}/3\text{V} = 0.017\%$$

数字表的校准不确定度分析

- 5520A校准仪表时，在标准环境时，不确定度的来源主要是
 - 5520A的技术指标
 - 数字表分辨力有限带来的 $\frac{1}{2}$ 字的影响。
- 5520A在输出交流 3V 时的绝对不确定度指标（99%置信水平）：

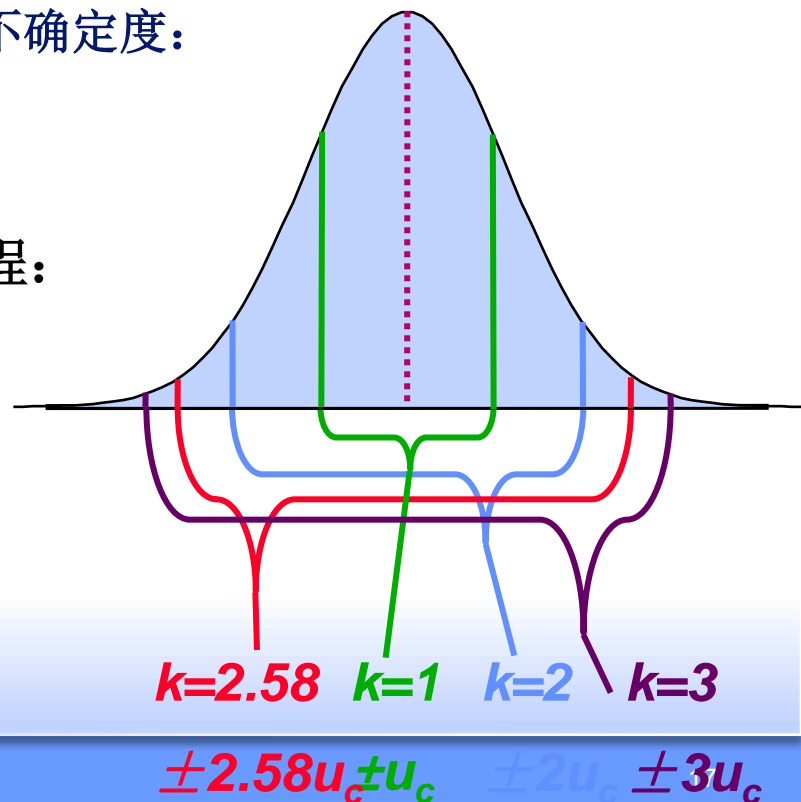
$$U_{99} = 0.00015 \bullet 3V + 60\mu V = 510\mu V$$

— 由于置信水平已知，可以直接换算为标准不确定度：

$$u_1 = 510\mu V / 2.58 = 198 \mu V$$

- 被测仪器是四位数字电压表交流6.000V量程：
 - 最低有效位是1mV， $\frac{1}{2}$ 字 = 0.5mV
 - 按均匀分布，换算出标准不确定度：

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ mV} \approx 0.29 \text{ mV}$$



数字表的校准不确定度分析

FLUKE®

Calibration

由于读数稳定不变，不确定度分量只有两项

- 得到合成标准不确定度（68%置信水平）：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{1.2918^2 + 0.350^2} = 1.352 \mu V$$

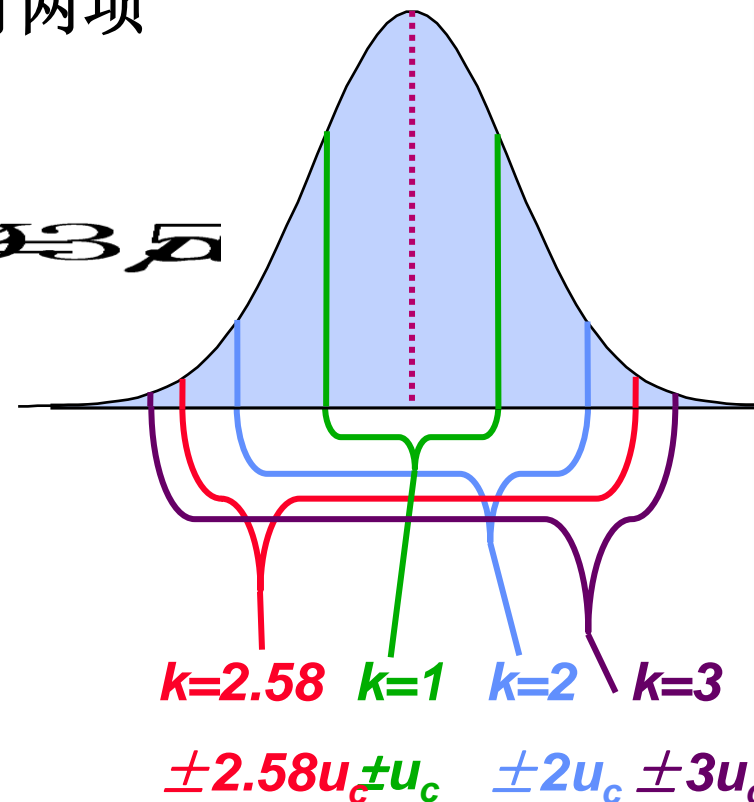
- 计算出95%置信水平的扩展不确定度：

$$U_{95} = 350 \mu V \cdot 2 = 700 \mu V$$

换算为相对值：

$$U_{95rel} = 700 \mu V / 3V = 0.024\%$$

—5520A校准四位数字电压表交流 3.000V
时的扩展不确定度（95%置信水平）为 0.024%.



数字表的校准结果

FLUKE®

Calibration

- 测量值为3.007V，数字表测量误差为：

$$\Delta = \text{测量值} - \text{标准值}$$

$$= 3.007\text{V} - 3\text{V} = 0.007\text{V} = 7 \text{ mV}$$

换算为相对误差：

$$\gamma_{\text{dmm}} = 7\text{mV}/3\text{V} = 0.24\%$$

- 数字表测量交流 3V的结果为：

$$V_{\text{dmm}} = 3.007\text{V} \pm 0.0007\text{V}$$

— 本例5520A校准四位数字电压表交流3V 时的扩展不确定度（95%置信水平）为 0.024%.

数字表校准时的读数重复性

- 如果测量值不稳定，需要多次测量，用多次测量结果的算术平均值作结果，并用贝塞尔公式计算出测量该算术平均值的不确定度。

—本例中测量交流电压 3V

—本例中测量5次，读数平均值为

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i = 3.0078$$

—算术平均值的不确定度为

测量次数	读数
1	3.007
2	3.008
3	3.009
4	3.008
5	3.007
平均值	3.0078

$$u_3 = \sqrt{\frac{1}{N \cdot (N - 1)} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2} = 374 \mu V$$

- 读数的重复性不确定度与数字表的分辨力有限引起的不确定度互相有重复，可以仅选取其中较大者，本例中选重复性不确定度

$$u_3 = 374 \mu V > u_2 = 289 \mu V$$

数字表的校准不确定度分析

重新计算得到合成不确定度（68%置信水平）：

$$u_c = \sqrt{1.98^2 + 1.44^2}$$

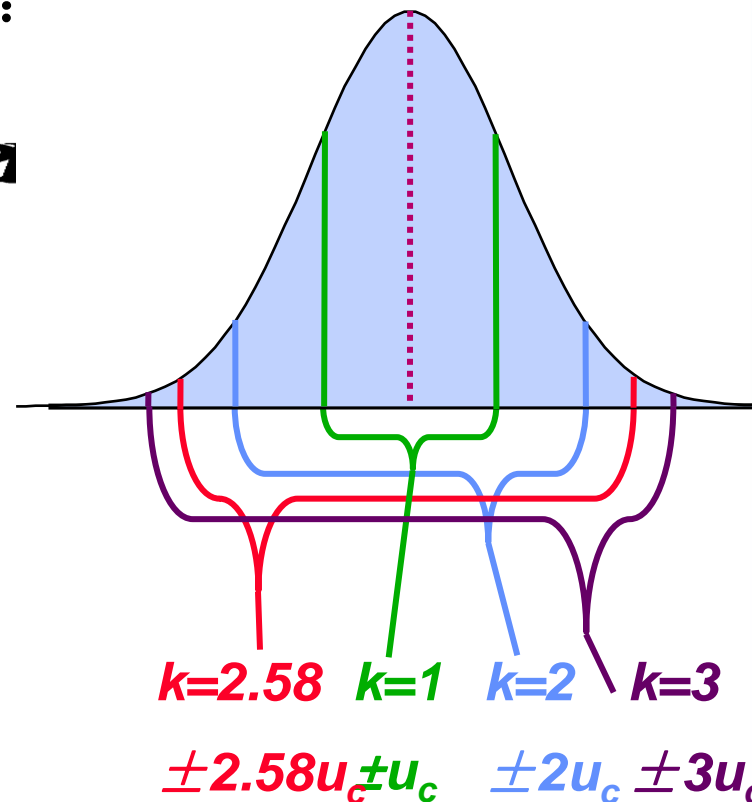
- 一般情况下，可以选用 $k=2$ ，
计算出95%置信水平的扩展不确定度：

$$U_{95} = 423 \mu\text{V} \cdot 2 = 846 \mu\text{V}$$

换算为相对值：

$$U_{95\text{rel}} = 846 \mu\text{V} / 3\text{V} = 0.028\%$$

— 本例5520A校准四位数字电压表交流3V
时的扩展不确定度（95%置信水平）为 0.028%.



数字表的校准结果

- 数字表测量误差为：

$$\Delta = \text{测量值} - \text{标准值}$$

$$= 3.0078\text{V} - 3\text{V} = 0.0078\text{V} = 7.8 \text{ mV}$$

换算为相对误差：

$$\gamma_{\text{dmm}} = 7.8\text{mV}/3\text{V} = 0.26\%$$

- 数字表测量交流 3V的结果为：

$$V_{\text{dmm}} = 3.0078\text{V} \pm 0.00085\text{V}$$

— 本例5520A校准四位数字电压表交流3V 时的扩展不确定度（95%置信水平）
为 0.032%.

数字多用表的一般校准方法

- 要保存所有的测量结果
- 测量结果内包含被测仪器仪器型号、名称、生产厂家，产品系列号和所有者
- 还要包括测试的功能、量程、测试点、校准器输出的标准值，数字表的读数，以及
 1. 测量的误差和该测试点的允许误差，或者
 2. 数字表的读数和该测量点的上下限值范围
- 要标出各测试点的测试结论
- 有时，还要报告该测试点的校准不确定度
- 还要有校准日期、校准人员等信息

校准证书

资产号:	123	校准日期:	2011-2-18 14:54:52
制造厂:	Fluke	校准结论:	是
型号:	15	证书号:	
名称:	数字多用表	校准规程/规范:	
序列号:	5456321	温度:	23.0 °C
校准间隔:	12	相对湿度:	35 %
间隔单位:	M		

<Add the name of the calibration lab here> 除非另外说明，本仪器满足或者超过了所用校准程序规定的技术指标。校准过程所用的测量仪器都已溯源至国家计量院，或者是可以自校准的比率装置。校准程序符合 ISO 17025 的要求。

校准标准

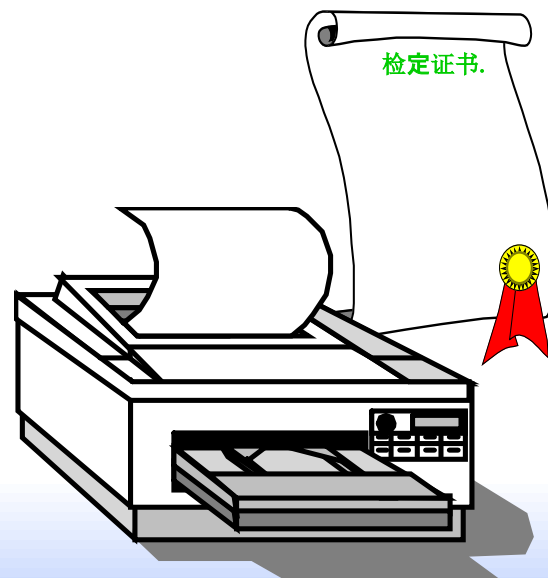
制造厂	型号	仪器名称	系列号	校准日期	校准过期日期
Fluke, 77		DMM	3211234343	2011-2-14	2012-2-14

校准结果

测试说明	名义值	读数	下限	上限	误差	通过/失败
直流电压 2.2V 量程	1.9 V	1.902 V	1.881 V	1.919 V	0.105 %	通过
	-1.9 V	-1.903 V	-1.919 V	-1.881 V	0.0	通过
直流电压测试: 12V 量程	10 V	10.023 V	9.9 V	10.1 V	0.23 %	通过
直流电压测试: 120V 量程	100 V	100.23 V	99.0 V	101.0 V	0.23 %	通过
交流电压测试: 1.2V 量程	1 V	1.0023 V	0.98 V	1.02 V	0.23 %	通过

数字多用表的一般校准方法

- 测量的最终产品—校准证书
- 校准证书应打印出来，相关人员要签字、盖章
- 校准证书格式要符合有关的要求
 1. 国际标准 ISO 17025 校准实验室认证的标准
 2. 国内的有关规程和规定常常规定了详细的证书格式
- 校准证书要长期保存



自动校准技术—提高工作效率和质量

正确校准仪器需要大量的计算工作，需要自动软件。

- 设计校准程序
- 执行校准过程
- 保存校准结果
- 打印校准证书
- 设计校准证书模板
- 设计仪器管理报表



编辑校准程序

在5080/CAL菜单工具，选择“**程序设计**”

• 进入程序设计，为各校准测试点 填写/选择参数数值

—描述：测试点说明

—选择测试类型

5080A V-Ω-A

5080A校准示波器

5080A校准功率

5080A校准兆欧表

手动测试

消息

...

—选择测试模式

直流电压

交流电压

直流电流

...

—测试点上下限值计算
根据指标自动计算

程序设计 []

文件

	描述	测试类型	测试模式	测试值 期望值	下限	上限
1	200mV量程测试	5080A V-Ω-A	直流电压	190 m	180.5	199.5
2	200mV量程测试	5080A V-Ω-A	直流电压	100 m	95.0	105.0
3	2V量程测试	5080A V-Ω-A	直流电压	1.9	1.805	1.995
▶ 4	2V量程测试	5080A V-Ω-A	直流电压	1		
5						
6						
7						
8						
9						

计算器
10%
5%
4%
3%
2%

进入校准过程，按提示操作，完成校准

FLUKE®

校准运行时 [Fluke, 15, 数字多用表, 序列号5456321]

键盘 微调

输入被测表读数,然后点击继续。

0.1006 A

端子: AUX

准备就绪

中止

继续

程序和结果

	描述	测试模式	标称值	下限	上限	实际	被测表指示	偏差
1		功能检查						
2		5080A Normal Hi 接到 uut V Hi, 5080A Normal Lo接到 uut V Lo。						
3	直流电压2.2V量程	直流电压	1.9	1.881	1.919	1.9 V	1.902 V	0.002 V
4		直流电压	-1.9	-1.919	-1.881	-1.9 V	-1.903 V	-0.003 V
5	直流电压测试: 12V量程	直流电压	10	9.9	10.1	10.0 V	10.03 V	0.03 V
6	直流电压测试: 120V量程	直流电压	100	99.0	101.0	100.0 V	100.4 V	0.4 V
7	交流电压测试: 1.2V量程 50Hz	交流电压	1	0.98	1.02	1.0 V	1.006 V	0.006 V
8	电阻测试	固定值电阻	0.0	0	0.2	0 Ω	0.1 Ω	0.1 Ω
9		固定值电阻	19.0	18.046	19.946	18.996 Ω	18.91 Ω	-0.086 Ω
10		固定值电阻	1.0 M	0.95009	1.05009	1.00009 MΩ	1.04 MΩ	0.03990996 MΩ
11		固定值电阻	10 M	9.499	10.499	9.999 MΩ	10.06 MΩ	0.061001 MΩ
12		5080A AUX Hi 接到 uut mA Hi, 5080A AUX Lo接到 uut mA Lo。						
13	电流测试: 100mA量程	直流电流	0.01	0.0095	0.0105	0.01 A	0.01012 A	0.00012 A
▶ 14		直流电流	0.1	0.095	0.105			
15		5080A 20A Hi 接到 uut A Hi, 5080A AUX Lo接到 uut A Lo。						
16	电流测试: 10A量程	直流电流	10	9.5	10.5			

自动打印校准证书

FLUKE®

Calibration

校准后，选择一份报表，例如中文证书，预览后，打印或输出文件

报表

文件 选项

可用报表

标题	报表类型
Certificate - DMM	证书
Certificate - Oscilloscope	证书
Certificate - Results Report	证书
Certificate - Results Report-试验	证书
Certificate - Safety Tester	证书
Certificate - Wattmeter	证书
Certificate of Calibration	证书
Certificate of Calibration中文	证书
报告	证书
试验证书	证书
试验证书1	证书
中文证书	证书

校准证书

资产号:	123	校准日期:	2011-2-18 14:54:52
制造厂:	Fluke	校准结论:	是
型号:	15	证书号:	
仪器名称:	数字多用表	校准规程/规范:	
系列号:	545 6321	温度:	23.0 °C
校准间隔:	12	相对湿度:	35 %
间隔单位:	M		

<Add the name of the calibration lab here> 除非另外说明, 本仪器满足或者超过了所用校准程序规定的技术指标。校准过程所用的测量仪器都已溯源至国家计量院, 或者是可以自校准的比率装置。校准程序符合 ISO-STD 17025的要求.。

校准标准

制造厂	型号	仪器名称	系列号	校准日期	校准过期日
Fluke, 77		DMM	3211234343	2011-2-14	2012-2-14

校准结果

测试说明	名义值	读数	下限	上限	误差	通过否
直流电压2.2V量程	1.9 V	1.902 V	1.881 V	1.919 V	0.105 %	通过
	-1.9 V	-1.903 V	-1.919 V	-1.881 V	0.0	通过
直流电压测试: 12V量程	10 V	10.023 V	9.9 V	10.1 V	0.23 %	通过
直流电压测试: 120V量程	100 V	100.23 V	99.0 V	101.0 V	0.23 %	通过
交流电压测试: 1.2V量程	1 V	1.0023 V	0.98 V	1.02 V	0.23 %	通过

- 正确理解被测仪器的技术指标是正确校准的第一步
- 选择校准测试点，计算测试点上下限值，报告校准不确定度都需要做大量的计算
- 使用自动校准程序可以利用设计好的程序，免除大量的计算工作计量
- 福禄克的MET/CAL 校准软件是一款全面的计量校准和资产管理软件，适用于各种计量校准器
- 福禄克的5080/CAL 校准软件是一款专门为5080A配用的简单计量校准软件，可为用5080A校准仪器提供高性价比的自动校准

谢谢大家！

FLUKE®

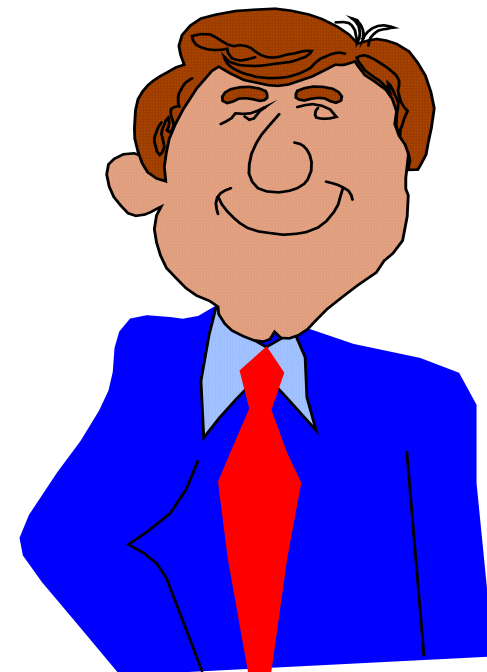
Calibration

美国福禄克公司计量部主页：

中文网站：cn.flukecal.com

英文网站：www.flukecal.com

- 配音/视频的产品和技术介绍
- 视频培训资料
- 产品说明书和应用文章
- 留言, 提出问题。



刘国琨:1391 080 3332, guokun.liu@fluke.com

杨胜利:1391 052 6912, victor.yang@fluke.com

王景: 1358 186 5076, jing.yang@fluke.com