

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.04.18

模拟电阻校准方法研究

倪有明

(南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

摘要: 通过模拟电阻的有关原理阐述, 提出对模拟电阻的校准不仅要考虑激励电流大小的影响, 也要考虑激励电流方向的影响。提出了针对不同等级的模拟电阻采用不同的校准设备, 以提高工作效率。对模拟电阻校准进行了 GUM 法和 MCM 法测量不确定度评定, 评定结果基本一致, 说明测量不确定度评定合理。通过对测量不确定度的验证, 证明校准方法的可行性和实用性。

关键词: 模拟电阻; 校准; 测量不确定度

中图分类号: TB97

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)04-0068-03

Research of Calibration Method on Analog Resistance

NI Youming

(Nanjing Electrical and Hydraulic Engineering Research Center, Nanjing 211106, China)

Abstract: The principles of analog resistance are elaborated and suggestions are put forward that the effects of both excitation current magnitude and excitation current direction should be considered for calibrating the analog resistance. Different grades of analog resistance should be calibrated by different devices to improve work efficiency. The GUM method and MCM method are used in evaluating the measurement uncertainty of analog resistance calibration. The evaluation results are basically identical, proving that the evaluation of measurement uncertainty is reasonable. The verification of the measurement uncertainty demonstrates the feasibility and practicability of the calibration method.

Key words: analog resistance; calibration; measurement uncertainty

0 引言

随着电子技术的飞速发展, 用于计量检定与校准的标准器具也取得了长足的发展, 过程仪表校验仪正逐步取代传统的直流电位差计和电阻箱, 广泛应用于温度二次仪表的检定与校准工作。但在用数字多用表电阻测量功能对过程仪表校验仪和多功能校准仪模拟电阻输出功能校准时, 却会出现校准数据与输出标称值相差很大, 有时甚至是错误的情况。如用 8508A 数字多用表对某过程仪表校验仪 100 Ω 电阻输出进行校准, 当 8508A 置于 200 Ω 量程时, 校准值为 118 Ω 左右且不稳定, 而 8508A 置于 2 k Ω 量程时, 校准值为 100.018 Ω 左右。为什么会产生如此大的差异, 哪一个校准值真实可信? 为此有必要对模拟电阻的校准方法进行研究。

1 模拟电阻的工作原理

模拟电阻不是实物电阻, 它是在外部激励电流(或

电压)^[1]驱动下, 根据欧姆定律自动调节输出端的电压值(或电流值)来模拟电阻。图 1 是基于外部激励电流驱动的一个模拟电阻原理图。

校准模拟电阻时, 设电阻测量仪表的测量电流为 I (此电流即为模拟电阻的激励电流), 则电阻 R 可等效为

$$R = V_o / I = (kR_s) D \quad (1)$$

式中: V_o 为模拟电阻的输出电压; k 为传递系数; R_s 为标准电阻值; kR_s 为模拟电阻校正后的一个常数; D 为输入到数模转换器 DAC 的数据。

此时, 若想得到模拟电阻 R , 只需控制微机 uP 向 DAC 送入适当的数据即可。

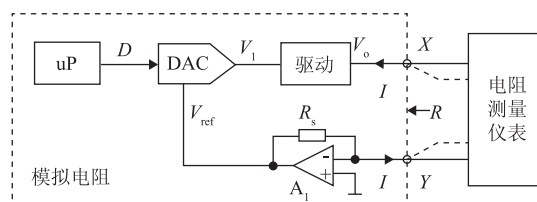


图 1 模拟电阻原理图

收稿日期: 2015-03-15; 修回日期: 2015-06-15

作者简介: 倪有明(1969-), 男, 高级工程师, 长期从事于电学计量仪器的检定与修理、计量标准的研制及人员培训考核工作。

2 校准原理及方法

由模拟电阻工作原理可知：模拟电阻值与外部激励电流（测试电流）有一定的关系。当激励电流产生的参考电压超出 DAC 有效范围时，DAC 将工作于非线性区，模拟电阻误差变大，甚至不能工作。由于数字多用表不同电阻量程的激励电流不同，如 8508A，1281A，3458A 等 $8\frac{1}{2}$ 数字多用表 200 Ω 量程时的激励电流为 10 mA，2 kΩ 量程时的激励电流为 1 mA，因此用数字多用表电阻功能校验模拟电阻就会出现

问题。

有的校验仪在模拟电阻输出时给出了激励电流的范围。如：ConST 31X(A) 系列过程校验仪在输出 1 ~ 110 Ω 模拟电阻时激励电流范围为 0.6 ~ 4 mA；110 ~ 400 Ω 模拟电阻时激励电流范围为 0.3 ~ 4 mA；400 ~ 1000 Ω 模拟电阻时激励电流范围为 0.06 ~ 1.5 mA；1000 ~ 4000 Ω 模拟电阻时激励电流范围为 0.01 ~ 0.6 mA。同时建议在输出 1 ~ 400 Ω 模拟电阻时激励电流为 1mA；400 ~ 4000 Ω 模拟电阻时激励电流为 0.1mA^[2]。表 1 是某过程校验仪 100 Ω 模拟电阻输出时不同校准电流下的校准数据。

表 1 不同校准电流时某 100 Ω 模拟电阻校准数据			
校准电流/mA	误差/Ω	校准电流/mA	误差/Ω
-1	-0.071	5	-0.035
0.5	+0.014	6	-0.036
1	-0.013	7	-0.037
2	-0.027	8	-15(不稳定)
4	-0.042		

不同厂商对热电阻温度仪表有不同的设计标准，主要表现在激励电流大小有差别且方向也不统一。因此，在实际使用中，模拟电阻是否可以作为标准器校准配热电阻的二次仪表应慎重考虑。

由以上分析知：校准模拟电阻时应有可调式直流恒流源、标准电阻及直流数字电压表，以精确测量流过模拟电阻的电流及模拟电阻上产生的压降，根据欧姆定律计算出模拟电阻值。此方法适用于所有等级的模拟电阻检定/校准工作。模拟电阻校准原理图如图 2 所示。

$$R_x = \frac{V_x}{V_n} \times R_n$$

(2)

式中： R_x 为待校模拟电阻值； V_x 为待校模拟电阻上电压值； R_n 为标准电阻值； V_n 为标准电阻上电压值。

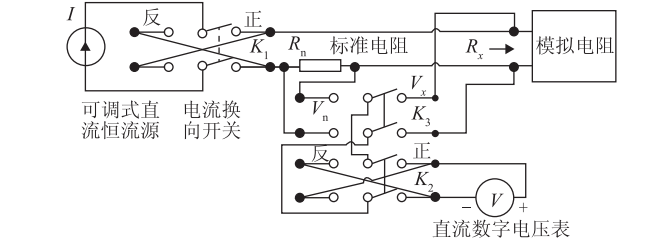


图 2 模拟电阻校准原理图

当具有高精度标准电流源（如 5720A 多功能校准源）和数字多用表（如 8508A 数字多用表）时，可以省略标准电阻及换向开关，此时有

$$R_x = \frac{V_x}{I_n}$$

(3)

式中： I_n 为流过模拟电阻的标准电流值。

用此方法对某过程仪表校验仪 400 Ω 量程的模拟电阻进行校准（校准电流为 1mA），校准数据如表 2 所示。由表 2 知此过程仪表校验仪 400 Ω 量程的模拟电阻输出完全符合其技术指标要求。

表 2 某过程仪表校验仪 400 Ω 量程模拟电阻校准数据

标称值/Ω	校准值/Ω	标称值/Ω	校准值/Ω
50.00	50.008	250.00	250.018
100.00	100.012	300.00	300.016
150.00	150.013	350.00	350.019
200.00	200.013	400.00	400.025

3 校准不确定度评定及验证

3.1 校准不确定度评定

3.1.1 评定方法一：GUM 法^[3]

过程仪表校验仪输出 100 Ω 模拟电阻，5720A 多功能校准源输出 1mA 直流电流至模拟电阻电流端，用 8508A 数字多用表测量模拟电阻电位端电压值，按式 (3) 计算输出模拟电阻值。

按式 (4) 计算被校模拟电阻的误差：

$$\Delta = R - \frac{V_x}{I_n}$$

(4)

传播系数：

$$c_R = \frac{\partial \Delta}{\partial R} = 1, c_{V_x} = \frac{\partial \Delta}{\partial V_x} = -\frac{1}{I_n} = -1 \text{ mA}^{-1}$$

$$c_{I_n} = \frac{\partial \Delta}{\partial I_n} = \frac{V_x}{I_n^2} = 100 \text{ ΩmA}^{-1}$$

测量不确定度来源、分量值及传播系数见表 3。

表 3 校准 100 Ω 模拟电阻时不确定度来源及传播系数一览表

u_i	不确定度来源	分量值	评定方法	传播系数 C_i
u_1	测量重复性	0.0004 Ω	A	1
u_2	被校模拟电阻分辨力	0.0003 Ω		
u_3	8508A 数字多用表 测量直流电压不准确	2.14×10^{-4} mV	B	-1 mA^{-1}
u_4	5720A 输出直流 电流不准确	2.42×10^{-5} mA		$100 \text{ Ω} \cdot \text{mA}^{-1}$

以上引入各不确定度分量的因素相互独立，互不相关，则合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum (c_i \cdot u_i)^2} = 2.5 \text{ mΩ}$$

取 $k=2$ ，则扩展不确定度
$$U = k u_c = 2 \times 2.5 = 5 \text{ mΩ}$$

校准结果为 $R_x = (100.016 \pm 0.005) \text{ Ω}, k = 2$

3.1.2 评定方法二：MCM 法^[4]

MCM(蒙特卡洛)法是实现概率分布传播的一种数值方法，它无需计算方差传播系数，适用于复杂数学模型或难以用数学模型表示的测量不确定度评定。根据试验数据及其他技术资料得到如表 4 所示的输入量信息。

表 4 校准 100 Ω 模拟标准电阻时不确定输入量信息

已知输入量 X_i	分布	期望	标准差	半宽度
测量重复性	$N(u, \sigma^2)$	100.016	0.0012 mV	--
被校模拟电阻分辨力	$R(a, b)$	0	--	0.0003 Ω
8508A 数字多用表测量直流电压不准确	$R(a, b)$	0	--	2.14×10^{-4} mV
5720A 输出直流电流不准确	$R(a, b)$	0	--	2.42×10^{-5} mA

通过随机数发生器进行 10000 次数据模拟，得到如图 3 所示的输出量 PDF 分布，由图 3 可知模拟电阻校准值近似成正态分布，校准不确定度为 0.005 Ω，95% 的最短包含区间为[100.011 Ω，100.021 Ω]。

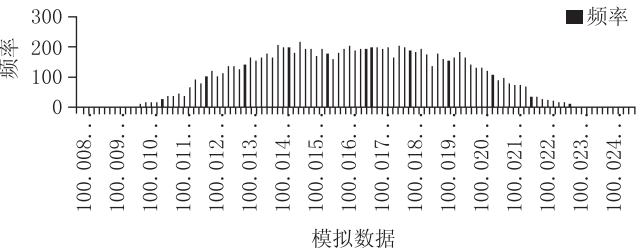


图 3 模拟电阻校准值 PDF 分布图

可以看出：GUM 法与 MCM 法评定结果基本一致，是可以信赖的。

3.2 校准不确定度的验证^[5]

测量标准不确定度的验证采用传递比较法。用一等 100 Ω 标准电阻作为标准器具，RT9606 全自动电阻校验仪测量同一模拟电阻，测量结果为 100.015 Ω，校准不确定度 U' 为 0.001 Ω。此时有

$$|100.016 \text{ Ω} - 100.015 \text{ Ω}| = 0.001 \text{ Ω} < \sqrt{0.0052 + 0.0012} \text{ Ω} = 0.005 \text{ Ω}$$

说明用 5720A 多功能校准源和 8508A 数字多用表开展模拟电阻校准工作的测量不确定度评定结果合理，可以开展 0.02 级以下模拟电阻的检定/校准工作。

4 结论

由于数字多用表电阻测量功能的激励电流原因，不能使用数字多用表直接开展模拟电阻的校准工作。但可以通过标准电流源输出电流激励模拟电阻，用数字多用表测量模拟电阻上电压间接完成校准工作。通过测量不确定度的评定进一步证明校准方法的可行性和实用性，圆满解决了模拟电阻的检定与校准问题。

参 考 文 献

[1]黄波. 数字化智能有源直流电阻箱[J]. 计量技术, 1998 (5): 15 - 17.
[2]北京康斯特科技仪表股份有限公司. ConST 31X(A) 系列过程校验仪技术说明书[Z].
[3]国家质量监督检验检疫总局. JJF1059.1 - 2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
[4]国家质量监督检验检疫总局. JJF1059.2 - 2012 用蒙特卡洛法评定测量不确定度[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
[5]国家国防科技工业局. JJF(军工)3 - 2012 国防军工计量标准器具技术报告编写要求[S]. 北京: 军标出版发行部, 2012.

(上接第 32 页)
[8] Butler R A, Covington A K, Whitfield M. The determination of pH in estuarine waters II: Practical considerations [J]. Oceanol. Acta, 1985, 8: 433 - 439.
[9] Byrne R H, Breland J A. High precision multiwavelength pH determinations in seawater using cresol red [J]. Deep-Sea Research, 1989, 36: 803 - 810.
[10] Byrne R H, Robert-Baldo G, Thompson S W, et al. Seawater pH measurements: an at-sea comparison of spectrophotometric and potentiometric methods [J]. Deep-Sea Research, 1989, 36: 803 - 810.
[11] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1343 - 2012 标准物质定值的通用原则及统计学原理[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
[12] 邓军华. 铝锰铁合金标准物质的研制[J]. 中国无机分析化学, 2012(1): 83 - 86.
[13] 王媛,李铁龙,刘大喜,等. 氧化还原电位标准溶液均匀性和稳定性检验[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(2):105 - 109.