

直流数字电流表示值误差的测量不确定度评定

施海燕, 殷海成

(中国电子科技集团公司第二十三研究所, 上海 201900)

[摘要] 由电缆冒烟试验的实际需求入手,介绍了直流数字电流表的工作原理和基本误差的测量方法。针对直流数字电流表的校准,详细分析了其测量不确定度的来源和评定方法,结果显示其可满足试验的要求。

[关键词] 数字多用表; 不确定度; 直流电流

[中图分类号] TM248 [文献标识码] B [文章编号] 1006-1908(2014)04-0011-02

The Measurement Uncertainty of the Indication Error for DC Digital Multimeter

SHI Haiyan, YIN Haicheng

(The 23rd Research Institute, CETC, Shanghai 201900, China)

Abstract: Starting with the actual demand of the cable smoke-emission test, the working principle and basic error measurement method of the DC digital multimeter are presented. In consideration of the calibration of DC digital multimeter, the sources and evaluation method of the uncertainty in the measurement are analyzed. The results show that it can meet the requirement of the test.

Key words: digital multimeter; uncertainty; direct current

0 引言

美国航空航天标准 SAE AS22759B—2011《含氟聚合物绝缘电线电缆》中规定航空航天用电缆应在一定温度下通过电缆冒烟试验。在该试验中需对试样电缆通以直流,同时对导体温度进行测定,导体温度测定结果对电缆冒烟试验具有重要影响。由于试验中 1% 的输入电流误差会带来超过 20 °C 的导体温度误差,因此试验中必须采用较高准确度的直流数字电流表对直流电源输出电流进行监控。本文通过对直流数字电流表工作原理和检定的阐述,以及直流数字电流表示值误差的测量不确定度的评定,以评估直流数字电流表对冒烟试验结果的影响。

1 直流数字电流表工作原理和检定

直流数字电流表通常是将被测直流电流转换成直流电压信号进行测量,一般称这种转换电路为电

流—电压(I—V)转换器。最简单的电流—电压转换器的工作原理是欧姆定律,即让被测电流 I_x 通过标准电阻 R_N 转换成直流电压 U_x ,再利用直流数字电压表准确测量直流电压 U_x 。多量程直流数字电流表可通过量程开关,选择接通对应阻值的标准电阻,从而实现对不同被测电流进行分量程测量。直流数字电流表的检定依据是 JJG 598—1989《直流数字电流表检定规程》;环境条件为温度 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度 $60\% \pm 15\%$;检定仪器为 Fluke5080A 多功能校准仪,其测量范围为 $0 \sim 20 \text{ A}$;检定对象为数字多用表 UT56;检定方法为直接测量法;测量连线如图 1 所示。

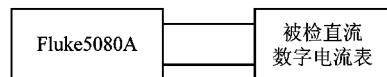


图 1 测量连线示意图

2 直流数字电流表示值误差的测量不确定度

2.1 数学建模

直流数字电流表示值误差的数学模型为:

$$y = I_x - I_N \quad (1)$$

[收稿日期] 2013-12-06
[作者简介] 施海燕(1986—),女,中国电子科技集团公司第二十三研究所助理工程师。
[作者地址] 上海市铁山路 230 号,中国电子科技集团公司第二十三研究所,201900

式中 I_x 为被测直流数字电流表的实测值, I_N 为多功能校准仪直流电流的实际值。

2.2 标准不确定度评定

通常直流数字电流表示值误差的测量不确定度分量来源有重复性引入的不确定度分量、多功能校准仪上级校准不确定度引入的不确定度分量、多功能校准仪允差极限引入的不确定度分量、多功能校准仪分辨率引入的不确定度分量、被检表的分辨率引入的不确定度分量。其中重复性引入的不确定度分量主要由被测直流电流表的测量重复性决定, 应采用 A 类方法进行评定, 即以测量的标准偏差表征。在同样的测试环境和测试条件下, 我们选取试验中典型值(直流电流 10 A)为测试点, 进行直流数字电流表示值误差的不确定度评定, 其他值可参照同样的方法进行不确定度评定, 本文在此不再论述。对直流数字电流表重复进行示值测试 10 次, 测得的数据列于表 1, 单次示值的标准差(即 A 类测量不确定度 u_A)为 0.001 2 A。

表 1 直流数字电流表重复进行示值测试的结果¹⁾

测量次数 n	示值 I_i/A	$\Delta I_i/A$	$\Delta I_i^2/A^2$
1	10.007	-0.000 5	2.50×10^{-7}
2	10.008	0.000 5	2.50×10^{-7}
3	10.007	-0.000 5	2.50×10^{-7}
4	10.006	-0.001 5	2.25×10^{-6}
5	10.008	0.000 5	2.50×10^{-7}
6	10.007	-0.000 5	2.50×10^{-7}
7	10.007	-0.000 5	2.50×10^{-7}
8	10.006	-0.001 5	2.25×10^{-6}
9	10.005	-0.002 5	6.25×10^{-6}
10	10.007	-0.000 5	2.50×10^{-7}
$\bar{I}=10.007 5$		$u_A=0.001 2 A$	

注:1)平均值 $\bar{I}=(\sum I_i)/n$, $\Delta I_i=I_i-\bar{I}$, 单次示值的标准差

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta I_i^2}{n-1}}。$$

对于多功能校准仪上级校准不确定度引入的不确定度分量、多功能校准仪允差极限引入的不确定度分量、多功能校准仪分辨率引入的不确定度分量、被检表的分辨率引入的不确定度分量, 均应采用 B 类方法进行评定, 即

$$u_{B_i} = \frac{b_i}{k_i} \tag{2}$$

式中 b_i 为各项 B 类测量不确定度分量的误差限, k_i 为各项 B 类测量不确定度分量的包含因子。根据上级校准机构提供的证书, 对于 10 A 测试点, 上级

校准相对扩展不确定度 $U_{rel} = 2.7 \times 10^{-5}$, 则 $b_1 = U_{rel} \times 10 A = 2.7 \times 10^{-4} A$, 假设为正态分布, $k_1 = 2$, 则多功能校准仪上级校准引入的不确定度分量 $u_{B1} = 1.35 \times 10^{-4} A$; 按照 Fluke5080A 多功能校准仪技术指标, 其一年内最大变化量为 0.25% 输出 + 2 500 μA , 对于 10 A 测试点, 其最大变化量 $0.25\% \times 10 A + 2 500 \mu A = 2.75 \times 10^{-2} A$, 即 $b_2 = 2.75 \times 10^{-2} A$, 假设为均匀分布, $k_2 = \sqrt{3}$, 则多功能校准仪允差极限引入的不确定度分量 $u_{B2} = 1.59 \times 10^{-2} A$; 对于数字显示式测量仪器, 量化误差仅考虑分布区间的半宽, 根据 Fluke5080A 多功能校准仪的技术指标, 对于 10 A 测试点, 其分辨力为 1 mA, 取半宽度 $a = 0.5 mA$, 即 $b_3 = 0.5 \times 10^{-3} A$, 假设为均匀分布, $k_3 = \sqrt{3}$, 则多功能校准仪分辨率引入的不确定度分量 $u_{B3} = 0.29 \times 10^{-3} A$; 根据 UT56 数字多用表的技术指标, 对于 10 A 测试点, 其分辨力为 1 mA, 取半宽度 $a = 0.5 mA$, 即 $b_4 = 0.5 \times 10^{-3} A$, 假设为均匀分布, $k_4 = \sqrt{3}$, 则被检表的分辨率引入的不确定度分量 $u_{B4} = 0.29 \times 10^{-3} A$ 。

由于以上各标准不确定度分量的来源不同, 相互独立, 因此合成标准不确定度 $u_c = (u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2)^{1/2} = 15.9 mA$ 。扩展不确定度 $U = u_c k$, 当置信概率 $p = 0.95$, 包含因子 $k = 2$ 时, $U = 32 mA$, 用相对扩展不确定度表示为 $U_{rel} = 0.3\%$ 。

3 结束语

通过对直流数字电流表示值误差的测量不确定度评定, 在所检定的电流量程范围内, 其扩展不确定度小于被检电流表最大允许误差的 1/3~1/5, 即校准结果的扩展不确定度对判断检定结论可忽略不计, 对冒烟试验的测试结果无明显影响。此外, 在使用直流数字电流表时还应注意以下事项: a. 需正确选用直流数字电流表的准确度等级, 一般为 1.0 级。b. 因内阻的大小反映仪表本身功率的消耗, 故测量电流时宜选用内阻尽可能小的电流表。c. 测量电流时, 电流表应与被测电路串联, 极性也与被测量的极性一致。d. 测试时如对电流大小不清楚, 则应从量程较大的档位开始测量, 然后再根据电流的大小, 调整到合适的量程; 当被测量超过电流表的量程式, 可采用外加分流器, 但应注意其准确度等级应与电流表的准确度等级相符。e. 电流表的使用环境要符合相关要求, 特别是远离外磁场。