

示波器检定装置不确定度分析评定

Assessment and Analysis of the Uncertainty Degree of Oscilloscope Certification Equipments

陈玉宽 张馥生

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 按 JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示、GJB 3756-1999 测量不确定度的表示与评定标准规定, 对本单位的标准装置不确定度进行了详细分析, 并按 GJB 2749A-2009Z 军事计量测量标准建立与保持通用要求对计量标准进行了重复性和稳定性考核以及不确定度的验证, 最后给出了计量标准装置不确定度评定。

关键词: 计量标准; 不确定度; 重复性; 稳定性; 评定

1 概述

不确定度是测量工作的质量和测量结果可信赖程度和评价。不确定度用以说明基准标准、检定测试水平, 作为量值溯源的依据, 表面测量设备的质量。一个测量结果, 只有当知道它的测量不确定度时才有意义, 才表明该测量结果的可信赖程度。

为了满足本单位科研生产的需要, 确保电磁类计量器具的量值统一, 保证科研、生产中试验与测试数据的准确可靠, 特建立此项计量标准, 在本单位内开展示波器量值传递。量值传递工作。

此项计量标准主要是 9500B 示波器校准仪。

1.1 测量方法

示波器检定项目很多, 主要介绍以下两项:

(1) 垂直偏转因数

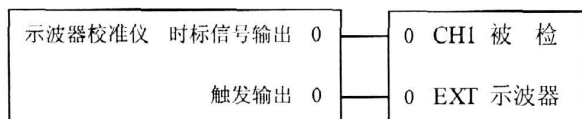


图 1

按图 2 连接好仪器, 将示波器校准仪的方波输出接至被检示波器的通道 1(CH1), 检测被检示波器通道 1 的垂直档位是否合格。按档位由低至高依次检测。若被检示波器为多通道, 还需要对其他通道进行同样步骤的检测。如果被检示波器的内触发工作正常, 可不接外触发 (EXT) 信号。

(2) 水平扫描



图 2

按图 2 连接好仪器, 将示波的时标信号输出接至被检示波器的通道 1(CH1), 检测被检示波器通道 1 的水平扫描是否合格。按档位由低至高依次检测。若被检示波器为多通道, 还需要对其他通道进行同样步骤的检测。如果被检示波器的内触发工作正常, 可不接外触发 (EXT) 信号。

具体检测步骤详见 JJG 262-1996 模拟示波器检定规程。

1.2 测量标准性能

9500B 示波器校准仪主要性能指标:

测量范围: $T: 450\text{ ps} \sim 55\text{ s}$, $V: 40\text{ V} \sim 200\text{ V}$, $tr: 500\text{ ps}$;

允许误差极限: 0.25 ppm , $0.1\% + 10\text{ V}$, 35 ps ;

平坦度: $0.1\text{ Hz} \sim 600\text{ MHz}$, 允许误差极限: 4% 。

1.3 校准(检定)环境条件

温度要求: (20 ± 5) , 湿度要求: $(60 \pm 15)\%$;

交流电源: $(220 \pm 11)\text{ V}$, $(50 \pm 1)\text{ Hz}$;

实际情况: 温度: (20 ± 2) ; 湿度: $< 75\%$ 。

2 测量标准不确定度的评定

2.1 测量原理

由于该示波器检定装置是由单台示波器校准仪 9500B 组成, 由示波器校准仪提供校准信号, 包括标准电压信号、时标信号、快沿信号、稳幅正弦信号。所以不确定来源主要是示波器校准仪各输出量的不确定度。

2.2 电压测量不确定度

(1) 不确定度来源

不确定度来源于示波器校准仪电压输出的不准确和不稳定。

(2) 不确定度评定

(3) 示波器校准仪电压输出不准确所引入的不确定度采用 B 类评方法评定, 置信区间半宽度 a 由示波器校

准仪技术说明书的信息确定。

在测量范围下限 1mV(50)时, $a = 1\text{mV} \ 0.1\% + 10 \text{ V} = 11 \text{ V}$;

在典型检定点 1V(50)时, $a = 1\text{V} \ 0.1\% + 10 \text{ V} = 1.01\text{mV}$;

在测量范围上限 5V(50)时, $a = 5\text{V} \ 0.1\% + 10 \text{ V} = 5.01\text{mV}$;

取包含因子 $k = 2$ 。

B 类评定的标准不确定度 u_1

$$1\text{mV 时, } u_1 = \frac{a}{k} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ V}$$

$$1\text{V 时, } u_1 = \frac{a}{k} = \frac{1.01}{2} = 0.5 \text{ V}$$

$$5\text{V 时, } u_1 = \frac{a}{k} = \frac{5.01}{2} = 2.5 \text{ V}$$

其不可靠性视为 10%, 自由度 $\nu = \frac{1}{2 \times 0.1^2} = 50$ 。

(4) 示波器校准仪电压输出不稳定引入的不确定度按标准不确定度 A 类评定方法评定, 用数字电压表 7150 实测示波器校准仪输出电压, 在 1V 点连续测量 10 次, 测量结果见表 1。

平均值实验标准偏差为:

$$S_n(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 8.4 \text{ v}$$

$$\text{A 类标准不确定度: } u_2 = \frac{S_n(\bar{x})}{\sqrt{n}} = 2.6 \text{ v}$$

表 1

次数	测量值(x_i)	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1.00002	36×10^{-12}
2	1.00001	16×10^{-12}
3	1.00003	256×10^{-12}
4	1.00002	36×10^{-12}
5	1.00001	16×10^{-12}
6	1.00000	196×10^{-12}
7	1.00001	16×10^{-12}
8	1.00001	16×10^{-12}
9	1.00002	36×10^{-12}
10	1.00001	16×10^{-12}
\bar{x}	1.000014	

自由度: $\nu_2 = n - 1 = 9$ 。

(5) 合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.5\text{mV}$$

(6) 扩展不确定度

电压扩展不确定度由合成标准不确定 u_c 乘以包含因子 k 得到, k 由有效自由度查均匀分布表得到, 查 t 分布表, 置信概率为 95%, 得 $k = 2.01$ 。

$$U = k u_c = 2.01 \times 0.5 = 1\text{mV};$$

检定点 1V(50) 相对扩展不确定度 $U = 0.1\%$ 。

2.3 时标测量不确定度

(1) 不确定度来源

不确定度来源于示波器校准仪时标输出的不准确和不稳定。

(2) 不确定度评定

示波器校准仪时标输出不准确所引入的不确定度采用 B 类评方法评定, 置信区间半宽度 a 由示波器校准仪技术说明书的信息确定。

在测量范围下限 55s 时, $a = 55\text{s} \ 0.25 \times 10^{-6} = 13.75 \times 10^{-6} \text{ s}$;

在测量范围上限 450.5ps 时, $a = 450.5 \times 10^{-12} \text{ s} \ 0.25 \times 10^{-6} = 112.625 \times 10^{-18} \text{ s}$;

在典型检定点 1 s 时, $a = 1 \times 10^{-6} \ 0.25 \times 10^{-6} = 0.25 \times 10^{-12} \text{ s}$;

取包含因子 $k = 2$;

B 类评定的标准不确定度 u_1

$$55\text{s 时, } u_1 = \frac{a}{k} = \frac{13.75 \times 10^{-6}}{2} = 6.875 \times 10^{-6};$$

$$1 \text{ s 时, } u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.25 \times 10^{-6}}{2} = 0.125 \times 10^{-12};$$

$$450.5\text{ps 时, } u_1 = \frac{a}{k} = 56.3 \times 10^{-18}$$

其不可靠性视为 10%, 自由度 $\nu_1 = \frac{1}{2 \times 0.1^2} = 50$ 。

(3) 示波器校准仪时标输出不稳定引入的不确定度按标准不确定度 A 类评定方法评定, 用频率计 SC-7201 实测示波器校准仪输出时标, 在 1 s 点连续测量 10 次, 测量结果。

平均值实验标准偏差为:

$$S_n(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 5.2 \times 10^{-8} \text{ ms};$$

$$\text{A 类标准不确定度: } u_2 = \frac{S_n(\bar{x})}{\sqrt{n}} = 1.63 \times 10^{-8} \text{ s};$$

自由度: $\nu_2 = n - 1 = 9$ 。

(4) 合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1.27 \times 10^{-7} \text{ s}$$

(5) 扩展不确定度

电压扩展不确定度由合成标准不确定 u_c 乘以包含因子 k 得到, k 由有效自由度查均匀分布表得到, 查 t 分布表, 置信概率为 95%, 得 $k = 2.01$ 。

$$U = k u_c = 2.01 \times 5.2 = 2.6 \times 10^{-7} \text{ s}$$

检定点 1 s 相对扩展不确定度 $U = 1\%$

3 测量标准重复性

3.1 电压参数重复性

在装置正常工作条件下, 用数字电压表 7151 对示波器校准仪 1V 输出重复测量 6 次(表 2), 进行电压重复性考核, 测量结果如下:

表2

次数	测量值(x_i)	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1 000032	1 10^{-12}
2	1 000038	25 10^{-12}
3	1 000032	1 10^{-12}
4	1 000030	9 10^{-12}
5	1 000033	0
6	1 000033	0
\bar{x}	1 000033	

$$\text{实验标准偏差: } S_n(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.7 \text{ V};$$

用6次测量实验标准偏差来表征标准装置1V电压幅度重复性。

$$S_n(x) < \frac{2}{3} u_c \text{ 符合要求。}$$

3.2 时间参数重复性

在装置正常工作条件下,用频率计E312A对示波器校准仪1s输出重复测量6次(表3),进行时间重复性考核,测量结果如下:

$$\text{实验标准偏差: } S_n(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.8 \text{ ps};$$

用6次测量实验标准偏差来表征标准装置1s时标重复性。

$$S_n(x) < \frac{2}{3} u_c \text{ 符合要求。}$$

表3

次数	测量值(x_i)	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1 0000020	4 10^{-14}
2	1 0000022	0
3	1 0000024	4 10^{-14}
4	1 0000020	4 10^{-14}
5	1 0000022	0
6	1 0000024	4 10^{-14}
\bar{x}	1 0000022	

3 测量标准稳定性

3.1 电压参数稳定性

在装置正常工作条件下,用7151对其进行测量,对该装置作稳定性实验。

在相同条件下,每隔一月测量一次,每次测量的平均值如表4所示。

$$\text{实验标准偏差: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \frac{u^2}{m-1}}{m-1}} = 1.8 \times 10^{-6} \text{ V} < u_c。$$

3.2 时间参数稳定性

在装置正常工作条件下,用E312A对其进行测量,

对该装置作稳定性实验。

在相同条件下,每隔一月测量一次,每次测量的平均值如表5所示。

表4

序号	$(\bar{x}_n)_i$	$u = (\bar{x}_n)_i - \bar{x}_m$	u^2
1	1 000035	1 10^{-6}	1 10^{-12}
2	1 000033	-1 10^{-6}	1 10^{-12}
3	1 000036	2 10^{-6}	4 10^{-12}
4	1 000032	-2 10^{-6}	4 10^{-12}
	4 000136		10 10^{-12}
\bar{x}	1 000034		

表5

序号	$(\bar{x}_n)_i$	$u = (\bar{x}_n)_i - \bar{x}_m$	u^2
1	1 0000018	-3 10^{-8}	9 10^{-16}
2	1 0000022	1 10^{-8}	1 10^{-16}
3	1 0000020	-1 10^{-8}	1 10^{-16}
4	1 0000024	3 10^{-8}	9 10^{-16}
	4 0000084		20 10^{-16}
\bar{x}	1 0000021		

$$\text{实验标准偏差: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \frac{u^2}{m-1}}{m-1}} = 2.6 \times 10^{-8} \text{ s} < u_c$$

4 结论

该测量标准的不确定度分别为电压测量1mV,时间测量 2.6×10^{-7} s,重复性分别为2.7 V, 1.8 ps,稳定性分别为 1.8×10^{-6} V, 2.6×10^{-8} s,验证结果符合要求,检定员具有有效证书,环境条件满足要求,技术资料齐全。

符合JJG262-1996模拟示波器检定规程要求,可以开展示波器的检定工作。

参考文献

[1] International Organization for Standardization, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement[S], 1993.

[2] GJB2749A-2009Z 军事计量测量标准建立与保持通用要求[S]. 北京:国防科工委军标出版社发行部出版, 2009.

[3] JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社出版, 1999.

[4] GJB3756-1999 测量不确定度的表示与评定标准[S]. 北京:中国人民解放军总装备部, 1999.

[5] JJG262-1996 模拟示波器检定规程[S]. 北京:中国计量出版社出版, 1996.

[6] 刘智敏. 不确定度及其实践[M]. 北京:中国标准出版社, 2000.

[7] 施昌彦. 现代计量学概论[M]. 北京:中国计量出版社, 2003.

作者简介:陈玉宽,男,高级工程师。工作单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所。通讯地址:130033 长春市东南湖大路3888号

张馥生,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所(长春130033)。

收稿时间:2010-12-21