

示波器高压探头校准规范

Calibration Specification for High Voltage

Probes of Oscilloscope

JJF (电子) 30304-2008

本校准规范经工业和信息化部于2009年05月18日批准,并自2009年06月01日起施行。

归口单位:工业和信息化部电子计量管理办公室

起草单位:工业和信息化部电子第四研究所

(军工电子计量测试中心)

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

张玉锋（军工电子计量测试中心）

胡菊萍（军工电子计量测试中心）

张继平（军工电子计量测试中心）



目 录

1 范围	25
2 概述	25
3 计量特性	25
4 校准条件	25
5 校准项目及校准方法	3
6 校准结果表达	6
7 复校时间间隔	6
附录 A 校准证书内页格式	7
附录 B 主要校准项目的测量不确定度评定实例	8

示波器高压探头校准规范

1 范围

本规范规定了示波器高压探头（以下简称探头）的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法和校准结果的表达。适用于额定输入电压为 1000V~40kV（DC+AC 峰值），频率范围为 DC~300MHz 的探头的校准。

2 概述

探头广泛应用于高电压维修检测和高电压工程测量中。它实际上是一个高电压衰减器，在其输出端接上一台匹配的示波器可以用来进行高电压测量。其电压示值等于探头衰减比与示波器示值之积。

探头一般分为直流探头和交直流两用探头，测量范围一般在 1000V ~40kV（DC+AC 峰值）。

3 计量特性

3.1 输入电阻

电阻值范围：10M Ω ~100M Ω ，最大允许误差： $\pm 3\%$ 。

3.2 输入电容

电容值范围：5pF~50pF（ $f=1\text{kHz}$ ），最大允许误差： $\pm 3\%$ 。

3.3 电压衰减比

额定输入电压：1000V~40kV（DC+AC 峰值）；

衰减比范围： $\times 100$ 、 $\times 1000$ ，最大允许误差： $\pm 3\%$ 。

3.4 频带宽度

3dB 带宽：DC~300MHz。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度： $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

4.1.2 相对湿度： $\leq 80\%\text{RH}$ 。

4.1.3 被校探头四周与分压器高度相等的范围内应无其他物体；高压引线应从分压器、互感器的顶部引出，与分压器器身的夹角不小于 90° 。

被校探头周围无影响其正常工作的电磁环境。

实验室应接地可靠且有放电装置。

如不能满足上述要求，允许在实际工作环境下校准，但须在报告中对环境条件提供具体说明。

4.2 校准用仪器设备

4.2.1 交直流标准分压（互感）器和标准电压表

4.2.1.1 交直流标准分压（互感）器

分压比范围： $\times 1000$ ，额定电压：20kV，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

4.2.1.2 标准电压表：

电压范围：10mV~100V，频率：DC~1MHz，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

4.2.2 直流高压电源、交流高压电源

4.2.2.1 直流高压电源

- a) 输出电压范围：20kV，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；
- b) 短期稳定性（30s）： $\pm 0.3\%$ ；
- c) 分辨力（调节细度）： $\pm 0.3\%$ ；
- d) 直流电压纹波系数小于 1%。

4.2.2.2 交流高压电源

- a) 工作频率：45Hz~65Hz；
- b) 输出电压范围：20kV，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；
- c) 短期稳定性（30s）： $\pm 0.3\%$ ；
- d) 分辨力（调节细度）： $\pm 0.3\%$ ；
- e) 交流高压电源电压波形失真小于 1%。

4.2.4 稳幅信号发生器

频率范围：DC~500MHz，输出电平范围（稳幅正弦波，至 50Ω ）：5mV~5V，最大允许误差： $\pm 3\%$ ，平坦度： $\pm 0.5\text{dB}$ 。

4.2.5 示波器

输入阻抗: $1\text{M}\Omega$, 幅度分辨率: 1mV/div , 频带宽度大于 500MHz 。

4.2.6 高阻表

电阻测量范围: $10\text{M}\Omega \sim 100\text{M}\Omega$, 最大允许误差: $\pm 0.3\%$ 。

4.2.7 LCR 表

电容测量范围: $5\text{pF} \sim 50\text{pF}$ ($f=1\text{kHz}$), 最大允许误差: $\pm 0.3\%$ 。

5 校准项目及校准方法

5.1 校准项目

被校仪器的校准项目见表 1。

表 1 校准项目

校准项目	首次校准	后续校准	使用中检验
外观及工作正常性检查	+	+	+
输入电阻	+	-	-
输入电容	+	-	-
电压衰减比	+	+	+
频带宽度	+	-	-
注: 表中“+”表示校准, “-”表示不校准。			

5.2 校准方法

5.2.1 外观及工作正常性检查

5.2.1.1 外观

在正式开始进行校准前, 首先对被校探头进行外观检查。被校探头的外观应完好, 接线端钮没有损坏和松动; 型号规格、生产厂、仪器编号等标识清晰; 接地端牢固可靠接地。

5.2.1.2 工作正常性检查

调节校准装置由零平稳连续地调到被校探头的上量限, 被校探头应无击穿、闪络现象。

5.2.2 输入电阻的校准

a) 按图 1 连接设备。

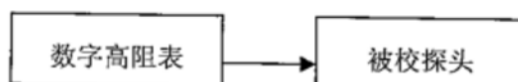


图 1 输入电阻校准示意图

b) 在数字高阻表上读取被校探头的输入电阻 R , 记入附录 A 表。

5.2.3 输入电容的校准

a) 按图 2 连接设备。



图 2 输入电容校准示意图

b) 将 LCR 表测量频率设置为 1kHz, 在 LCR 表上读取被校探头的输入电容 C 值, 记入附录 A 表。

5.2.4 电压衰减比的校准

校准点的选取: 对于被校探头的每一个标称电压衰减比, 在规定的测量范围内, 直流时均匀选取包括上下限在内的 5 点进行校准; 交流时选取被校探头的 20%, 50%, 80%, 100% 额定电压点进行校准。

可以根据用户的使用要求只进行直流电压校准衰减比校准或工频交流电压衰减比校准。当直流电压衰减比和交流电压衰减比两项都需要校准时, 如果先在直流电压下对探头的 5 个校准点进行校准, 那么在工频交流电压下只需校准额定电压值的二分之一和额定电压值点即可, 反之亦然。

电压衰减比基本误差的校准方法有标准源法和标准分压 (比例) 器法等, 校准人员可根据现有的设备情况加以选用。

5.2.4.1 标准源法

标准源法的校准线路连接如图 3 所示。

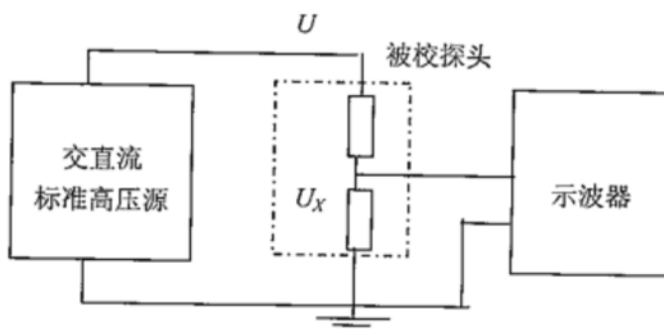


图 3 标准源法校准衰减比示意图

调节交直流高压源的输出电压为校准点电压, 读取示波器的示值作为被校探头的输出电压, 计算被校探头的电压衰减比, 即

$$K_x = \frac{U}{U_x} \quad (1)$$

式中:

K_x —被校探头的衰减比;

U —被校探头的输入电压, V;

U_x —被校探头的输出电压, V。

5.2.4.2 标准分压 (互感) 器法

标准分压 (互感) 器法的校准线路连接如图 4 所示。

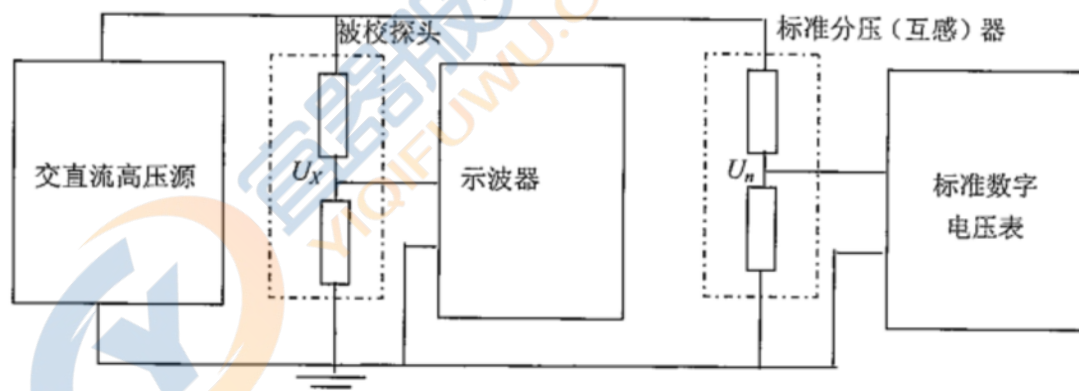


图 4 标准分压 (互感) 器法校准衰减比示意图

调节交直流高压源的输出电压为校准点电压, 读取标准数字电压表的示值作为标准分压 (互感) 器的输出电压, 读取示波器的值作为被校探头的输出电压, 计算被校探头的电压衰减比, 即

$$K_x = K_n \frac{U_n}{U_x} \quad (2)$$

式中:

K_n —标准分压 (互感) 器的衰减比值;

U_n —标准分压 (互感) 器的输出电压, V;

U_x —被校探头的输出电压, V;

K_X —标准分压（互感）器的衰减比值。

5.2.5 频带宽度的校准

按图 5 连接设备。

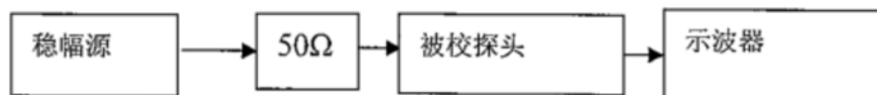


图 5 频带宽度校准示意图

使稳幅信号发生器输出 50kHz 频率的信号，示波器输入电阻选 $1M\Omega$ ，调整示波器触发和时基，使信号稳定显示。调节信号电平使其居中覆盖 6 格，保持稳幅源输出幅度不变，减小和增加稳幅源的频率 f ，示波器显示下降到 4.2 格时，读取频率 f_L 、 f_H ，按式 3 计算被校探头的频带宽度 B ：

$$B = f_H - f_L \quad (3)$$

f_H —随频率增加，电压下降到 4.2 格时的频率，Hz；

f_L —随频率减小，电压下降到 4.2 格时的频率，Hz。

6 校准结果表达

经校准的探头，出具校准证书。证书应包含足够信息，如委托单位，被校探头名称、型号、制造商、系列号、管理编号，校准日期，校准地点，校准单位，校准人，测量结果及测量不确定度等。如委托单位要求，可给出符合性的结论。

7 复校时间间隔

建议校准周期为一年。必要时可随时送校。

附录 A

校准证书内页格式

一、外观及工作正常性检查:

外观检查:

工作正常性检查:

二、输入电阻:

标称值	实测值

三、输入电容:

标称值	实测值

四、电压衰减比:

(1) 直流电压

电压输入值	电压输出值	标称值	实测值	测量不确定度

(2) 交流电压 $f=50\text{Hz}$

电压输入值	电压输出值	标称值	实测值	测量不确定度

五、频带宽度:

附录 B

主要校准项目的测量不确定度评定实例

1 示波器高压探头直流电压衰减比的测量不确定度评定

1.1 数学模型

用直流高压标准源和直流高压标准分压器、一台直流标准电压表和一台数字示波器对高压探头进行校准,被测量是高压探头直流电压衰减比,以下评定以输入电压 10kV,被校高压探头测量直流电压衰减比为例进行。

根据图 4 可得:

$$K_x = K_n \frac{U_n}{U_x}$$

式中:

K_n —标准分压器的衰减比值;

U_n —标准分压器的输出电压, V;

U_x —被校探头的输出电压, V;

K_x —标准分压器的衰减比值。

1.2 本测量系统的主要不确定度来源有以下几个方面:

- a) 直流高压标准源的短期稳定性;
- b) 直流高压标准分压器的不准;
- c) 直流标准数字电压表的不准;
- d) 直流标准数字电压表的分辨力;
- e) 直流标准数字电压表的输入阻抗;
- f) 示波器幅度测量不准;
- g) 测量重复性。

1.3 标准不确定度分量评定

- a) 直流高压标准源的短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_1

直流高压标准源的短期稳定性 (30min) 为 0.01%, 假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。

直流高压标准源的短期稳定性引入的不确定度分量相对值为:

$$u_1 = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.0058\%$$

b) 直流高电压标准分压器不准引入的标准不确定度分量 u_2

直流高电压标准分压器的准确度等级为 0.1 级, 假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。直流高压标准分压器的基本误差引入的不确定度分量相对值为:

$$u_2 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

c) 直流标准数字电压表测量不准引入的标准不确定度分量 u_3

根据直流标准数字电压表 (型号: 617) 20V 量程的允许基本误差表达式为: 0.05%读数+1 个字; 在 10V 示值点的允许误差极限绝对值为 0.006V, 相对值为 0.06%。假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。直流标准数字电压表的基本误差引入的不确定度分量相对值为:

$$u_3 = \frac{0.06\%}{\sqrt{3}} = 0.035\%$$

d) 直流标准数字电压表的分辨力引入的标准不确定度分量 u_4

直流标准数字电压表 (型号: 617) 20V 量程的分辨力为: 0.001V; 因此区间半宽度的绝对值为 0.0005V, 相对值为 0.005%。假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。直流标准数字电压表的分辨力引入的不确定度分量相对值为:

$$u_4 = \frac{0.005\%}{\sqrt{3}} = 0.003\%$$

e) 直流标准数字电压表的输入阻抗引入的标准不确定度分量 u_5

直流标准数字电压表 (型号: 617) 接入直流高电压标准分压器的输出端进行测量, 必然会与分压器的低压臂形成并联, 导致低压臂的压降减小。

直流高电压标准分压器的输出阻抗为 $1\text{M}\Omega$, 直流标准数字电压表 (型号: 617) 的输入阻抗为 $200\text{T}\Omega$, 故引入的不确定度分量相对值估计为:

$$u_5 = \frac{1\text{M}\Omega}{200\text{T}\Omega} = 0.5 \times 10^{-8}$$

f) 示波器的幅度测量不准引入的标准不确定度分量 u_6

示波器接入被校准的高压探头的输出端进行监测, 所用的示波器 TDS3052B, 技术指标: 输入阻抗 $1\text{M}\Omega$, 灵敏度 1mV/div , 带宽 500MHz , 经过校准得知, 误差为 0.6%, 则其引入的不确定度分量为:

$$u_6 = \frac{0.6\%}{\sqrt{3}} = 0.35\%$$

g) 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_7

在相同的条件下, 在短时间内对被校探头的直流电压衰减比连续进行 10 次测量, 获取 10 次数据, 测量数据见下表:

单位 V

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
测量值	9.99	9.99	9.99	9.99	10.00	9.99	9.99	9.99	9.99	9.99	9.991

运用贝塞尔公式计算由重复测量引起的电压幅度标准不确定度 u_{repmeas} 。

实验标准偏差:

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0032\text{V}$$

在 10V 时相对值为:

$$u_7 = 0.032\%$$

1.4 合成标准不确定度计算

不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
u_1	直流高压标准源的不稳定	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0058%
u_2	直流高压标准分压器的不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.058%
u_3	直流标准数字电压表的不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.035%
u_4	直流标准数字电压表的分辨力	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.003%
u_5	直流标准数字电压表的输入阻抗	B 类	/	/	0.5×10^{-8}
u_6	示波器幅度测量不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.35%
u_7	测量重复性	A 类	/	/	0.032%

u_1 、 u_2 、... u_6 、 u_7 相互独立, 其灵敏度系数为 1

将所有分量进行合成, 得到合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 0.36\%$$

1.5 扩展不确定度

由于在合成标准不确定度中起决定作用的分量 u_6 为均匀分布, 则取 $k_p=1.65$

$$U = u_c \times 1.65 = 0.6\%$$

输入电压 10kV 时, 被校探头直流电压衰减比测量的扩展不确定度为: 0.6%, $k_p=1.65$

2 示波器高压探头交流电压衰减比的测量不确定度评定

2.1 数学模型

按图 3 连接线路, 可得

$$K_x = \frac{U}{U_x}$$

式中:

K_x —被校探头的衰减比;

U —被校探头的输入电压, V;

U_x —被校探头的输出电压, V。

2.2 本测量系统的主要不确定度来源有以下几个方面:

- 交流高压标准源的短期稳定性;
- 交流高压标准源的输出不准;
- 示波器幅度测量不准;
- 测量重复性。

2.3 标准不确定度分量评定

- 交流高压标准源的短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_1

交流高压源的短期稳定性 (30min) 为 0.01%, 假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。交流高压源的短期稳定性引入的不确定度分量相对值为:

$$u_1 = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.0058\%$$

- 交流高压标准源的输出不准引入的标准不确定度分量 u_2

交流高压标准源的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$, 则区间半宽度的相对值为 0.1%, 假设为均匀分布, 则包含因子为 $\sqrt{3}$ 。交流高压标准源的输出不准引入的不确定度分量相对值为:

$$u_2 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

c) 示波器幅度测量不准引入的标准不确定度分量 u_3

示波器接入被校准的高压探头的输出端进行监测, 所用的示波器 TDS3052B, 技术指标: 输入阻抗 $1\text{M}\Omega$, 灵敏度 1mV/div , 带宽 500MHz , 经过校准得知, 误差为 0.6% , 则其引入的不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.6\%}{\sqrt{3}} = 0.35\%$$

d) 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_4

在相同的条件下, 在短时间内对被校探头的交流电压衰减比连续进行 10 次测量, 获取 10 次数据, 测量数据见下表获取 10 次数据, 测量数据见下表: 单位 V

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
测量值 (V)	9.99	9.99	9.99	9.99	10.00	9.99	9.99	9.99	10.00	9.99	9.992

运用贝塞尔公式计算由重复测量引起的标准不确定度 u_4

实验标准偏差:

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0042\text{V}$$

在 10V 时相对值为:

$$u_4 = 0.042\%$$

2.4 合成标准不确定度计算

不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
u_1	交流高压标准源的短期稳定性	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0058%
u_2	交流高压标准源的输出不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.058%
u_3	示波器幅度测量不准	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.35%
u_4	测量重复性	A 类	/	/	0.042%

以上各分量互不相关, 其灵敏度系数为 1

将所有分量进行合成, 得到合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.36\%$$

2.5 扩展不确定度

由于在合成标准不确定度中起决定作用的分量 u_3 为均匀分布, 则取 $k_p=1.65$

$$U = u_c \times 1.65 = 0.6\%$$

输入 10kV 时, 交流电压衰减比测量的扩展不确定度为: 0.6%, $k_p=1.65$

