《电动汽车高压直流保护器件测试装置》

不确定度评定报告

一、瞬态电流测量示值误差校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23 ℃,相对湿度为 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.3 条规定的校准方法，典型值为 15 kA。

2 数学模型

瞬态电流测量示值误差按公式（1）建立测量模型：

$$\Delta I_1 = I_x - I_n \quad (1)$$

式中：

ΔI_1——瞬态电流测量示值误差；

I_x——被校测试装置瞬态电流示值；

I_n——标准装置示值。

3 标准不确定度的评定

3.1 标准不确定度$u(I_x)$的评定

$u(I_x)$主要来源于被校测试装置的测量重复性和分辨力引入的不确定度。

在重复性条件下，被校测试装置连续独立测量 10 次，采用 A 类方法进行评定，测量数据见表 1。

表 1 被校测试装置 15 kA 校准点重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（kA）	15.11	15.14	15.18	15.10	15.08	15.13	15.11	15.17	15.07	15.17

由贝塞尔公式计算所得的单次实验标准差为：$s(I_x)$ = 0.039 kA，则由测量重复性引入的标准不确定度为：$u_1 = s(I_x)$ = 0.039 kA。

被校试测试装置瞬态电流测试的分辨力为 0.01 kA，采用 B 类方法进行评定，区间半宽度 a = 0.005 kA，按均匀分布考虑，取包含因子 $k = \sqrt{3}$，则由分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\ \text{kA}$$

被校试测试装置瞬态电流示值读数重复性引入的标准不确定度分量 u_1 和分辨力引入的标准不确定度分量 u_2 存在相关性，两者取大值，因 $u_1 > u_2$，故取 u_1 作为 $u(I_x)$，因此被校测试装置引入的标准不确定度为：$u(I_x)$=0.039 kA。

3.2 标准不确定度$u(I_n)$的评定

$u(I_n)$主要来源于标准装置的示值误差，采用 B 类方法评定。

标准装置示值误差引入的不确定度，采用 B 类方法进行评定。标准装置的最大允许误差为：e_1=±（1.0%×15）kA = ±0.15 kA，区间半宽度 a = 0.15 kA，在区间内可以认为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$，标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.087\text{kA}$$

由标准装置引入的标准不确定度为：

$$u(I_n) = u_3 = 0.087\text{kA}$$

4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数：$c_1 = \frac{\partial(\Delta I_1)}{\partial I_x} = 1$，　$c_2 = \frac{\partial(\Delta I_1)}{\partial I_n} = -1$，标准不确定度汇总见表 2。

表 2 瞬态电流测量示值误差的标准不确定度汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(I_x)$	被校测量装置引入	0.039kA	1
$u(I_n)$	标准装置引入	0.087kA	-1

当校准点为直流 15 kA 时，合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(I_x) + c_2^2 \cdot u^2(I_n)} = 0.095\ \text{kA}$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k=2，扩展不确定度：$U = k \cdot u_c$ = 2×0.095 ≈0.19 kA

6 不确定度报告

校准点为直流 15 kA 时，瞬态电流测量示值误差的扩展不确定度：U = 0.19 kA，k = 2；相对扩展不确定度：　$U_{rel} = \frac{0.19}{15} \times 100\% \approx 1.3\%$，$k$ = 2。

二、瞬态电压测量示值误差校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23 ℃，相对湿度为 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.4 条规定的校准方法，典型校准点为 1500 V。

2 数学模型

瞬态电压测量示值误差按公式（2）建立测量模型：

$$\Delta U_1 = U_x - U_n \qquad (2)$$

式中：

ΔU_1——瞬态电压测量示值误差；

U_x——被校测试装置瞬态电压示值；

U_n——标准装置示值。

3 标准不确定度的评定

3.1 被校测试装置引入的标准不确定度 u（U_x）

u（U_x）主要来源于被校测试装置的测量重复性和分辨力引入的不确定度。

在重复性条件下，被校测试装置连续独立测量 10 次，采用 A 类方法进行评定。测量数据见表 3。

表 3 被校测试装置 1500 V 校准点重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（V）	1501.4	1502.3	1503.2	1503.6	1504.2	1501.5	1501.0	1501.9	1501.3	1502.9

由贝塞尔公式计算单次实验标准差 s（U_x）=1.108 V，由测量重复性引入的标准不确定度：

$$u_1 = s(U_x) = 1.108\ \text{V}$$

瞬态电压测量示值分辨力为 0.1 V，其区间半宽度 a =0.05 V，按均匀分布（k =$\sqrt{3}$），由分辨力引入的标准不确定度：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \approx 0.029\ \text{V}$$

被校试测试装置瞬态电压示值读数重复性引入的标准不确定度分量 u_1 和分辨

力引入的标准不确定度分量 u_2 存在相关性，两者取大值，由于 $u_1 > u_2$，故取 u_1 作为 $u(U_x)$，则由被校测试装置引入的标准不确定度为：$u(U_x)$=1.108 V。

3.2 标准装置引入的标准不确定度 $u(U_n)$

$u(U_n)$ 主要来源于标准装置的示值误差，采用 B 类方法评定。

标准装置示值误差引入的不确定度，采用 B 类方法评定。标准装置最大允许误差±1.0%，区间半宽度 a =15 V，按均匀分布（k =$\sqrt{3}$），标准不确定度：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{15}{\sqrt{3}} \approx 8.660\ \text{V}$$

则标准装置引入的标准不确定度：

$$u(U_n) = u_3 \approx 8.660\ \text{V}$$

4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数$c_1 = \frac{\partial(\Delta U_1)}{\partial(U_x)} = 1$，　$c_2 = \frac{\partial(\Delta U_1)}{\partial(U_n)} = -1$，标准不确定度汇总见表 4。

表 4 瞬态电压测量示值误差的标准不确定度汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(U_x)$	被校测试装置引入	1.108 V	1
$u(U_n)$	标准装置引入	8.660 V	-1

合成标准不确定度：$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(U_x) + c_2^2 \cdot u^2(U_n)} \approx 8.731\ \text{V}$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k = 2，扩展不确定度：$U = k \cdot u_c = 2 \times 8.731 \approx 17\ \text{V}$

6 不确定度报告

校准点为 1500 V 时，瞬态电压测量示值误差的扩展不确定度 U=17 V，k =2；相对扩展不确定度：$U_{rel} = \frac{17}{1500} \times 100\% \approx 1.2\%$，$k = 2$。

三、稳态电流测量示值误差校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23 ℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.5 条规定的校准方法，典型校准点为 1500 A。

2 数学模型

稳态电流测量示值误差按公式（3）建立测量模型：

$$\Delta I_2 = I_{\mathrm{x}} - I_{\mathrm{n}} \qquad (3)$$

式中：

ΔI_2——稳态电流测量示值误差；

I_{x}——被校测试装置稳态电流示值；

I_{n}——标准装置示值。

3 标准不确定度的评定

3.1 被校测试装置引入的标准不确定度 $u(I_{\mathrm{x}})$

$u(I_{\mathrm{x}})$主要来源于被校测试装置的测量重复性和分辨力引入的不确定度。

在重复性条件下，被校测试装置连续独立测量 10 次，采用 A 类方法进行评定。测量数据见表 5。

表 5 被校测试装置 1500 A 校准点重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（A）	1500.8	1501.3	1500.4	1500.6	1500.7	1501.0	1500.4	1500.4	1500.3	1500.1

由贝塞尔公式计算单次实验标准差 $s(I_{\mathrm{x}}) = 0.358$ A，则由测量重复性引入的标准不确定度为：u_1=s(I_{x})=0.358 A。

示值分辨力为 0.1 A，其半宽度 a = 0.05 A，采用 B 类方法进行评定，按均匀分布考虑，取 k =$\sqrt{3}$，由分辨力引入的标准不确定度$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \approx 0.029$ A。因重复性分量大于分辨力分量，取 $u(I_{\mathrm{x}})$= u_1 = 0.358 A。

3.2 标准装置引入的标准不确定度 $u(I_{\mathrm{n}})$

$u(I_{\mathrm{n}})$主要来源于标准装置的示值误差，采用 B 类方法评定。

标准装置示值误差引入的不确定度，采用 B 类方法进行评定。标准装置最大允许误差±0.5%，区间半宽度 a =7.5 A ，在区间内可以认为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$，标准不确定度为$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{7.5}{\sqrt{3}}$=4.330 A。

由标准装置引入的标准不确定度为：$u(I_{\mathrm{n}})$ = u_3 = 4.330 A

4 合成标准不确定度的评定

表 6 稳态电流测量示值误差的标准不确定度汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(I_x)$	被校测试装置引入	0.358 A	1
$u(I_n)$	标准装置引入	4.330 A	-1

$$u_c=\sqrt{c_1^2\cdot\ u^2(I_x)+c_2^2\cdot\ u^2(I_n)}\approx 4.345\ \text{A}$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$，扩展不确定度 $U=k\cdot u_c=2\times4.345\approx8.7$ A

6 不确定度报告

校准点为 1500 A 时，稳态电流测量示值误差的扩展不确定度：U=8.7 A，k=2；相对扩展不确定度 $U_{rel}=\frac{8.7}{1500}\times100\%\approx0.58\%$，$k$=2。

四、稳态电压测量示值误差校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23 ℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.6 条规定的校准方法，典型校准点为 1500 V。

2 数学模型

稳态电压测量示值误差按公式（4）建立测量模型：

$$\Delta U_2=U_x-U_n \quad\cdots\cdots(4)$$

式中：

ΔU_2——稳态电压测量示值误差；

U_x——被校测试装置稳态电压示值；

U_n——标准装置示值。

3 标准不确定度的评定

3.1 被校测试装置引入的标准不确定度 $u(U_x)$

$u(U_x)$ 主要来源于被校测试装置的测量重复性和分辨力引入的不确定度。

在重复性条件下，被校测试装置连续独立测量 10 次，采用 A 类方法进行评定。测量数据见表 7。

表 7 被校测试装置 1500 V 校准点重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（V）	1500.8	1500.7	1500.7	1500.8	1500.7	1500.6	1500.8	1500.6	1500.7	1500.5

由贝塞尔公式计算单次实验标准差 $s(U_x)$=0.108 V,由测量重复性引入的标准不确定度：u_1=$s(U_x)$=0.108 V。

被校测试装置示值分辨力为 0.1 V，其半宽度 a =0.05 V，按均匀分布（k =$\sqrt{3}$），由分辨力引入的标准不确定度：$u_2=\frac{a}{k}=\frac{0.05}{\sqrt{3}}\approx 0.029$ V。

被校试测试装置瞬态电压示值读数重复性引入的标准不确定度分量 u_1 和分辨力引入的标准不确定度分量 u_2 存在相关性，两者取大值，$u_1>u_2$，故取 u_1 作为 $u(U_x)$，则由被校测试装置引入的标准不确定度为：$u(U_x)$=u_1=0.108 V。

3.2 标准装置引入的标准不确定度 $u(U_n)$

$u(U_n)$ 主要来源于标准装置的示值误差，采用 B 类方法评定。

标准装置示值误差引入的不确定度，采用 B 类方法评定。标准装置最大允许误差±0.2%，区间半宽度 a =3 V，按均匀分布，取 k =$\sqrt{3}$，标准不确定度：

$$u_3=\frac{a}{k}=\frac{3}{\sqrt{3}}\approx 1.732\ \text{V}$$

则标准装置引入的标准不确定度：$u(U_n)$=u_3=1.732 V

4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数$c_1=\frac{\partial(\Delta U_1)}{\partial(U_x)}=1$，　$c_2=\frac{\partial(\Delta U_1)}{\partial(U_n)}=-1$，标准不确定度汇总见表 8。

表 8 稳态电压测量示值误差的标准不确定度汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(U_x)$	被校测试装置引入	0.108 V	1
$u(U_n)$	标准装置引入	1.732 V	−1

合成标准不确定度：$u_c=\sqrt{c_1^2\cdot u^2(U_x)+c_2^2\cdot u^2(U_n)}\approx 1.735$ V

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k=2，扩展不确定度：U=k • u_c=2×1.735 ≈3.5 V

6 不确定度报告

校准点为 1500 V 时，稳态电压测量示值误差的扩展不确定度 U=3.5 V，k=2；相对扩展不确定度 $U_{rel}=\frac{3.5}{1500}\times 100\% \approx 0.23\%$，$k$=2。

五、时间测量示值误差校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.7 条规定的校准方法，典型校准点为 10 ms。

2 数学模型

时间测量示值误差按公式（5）建立测量模型：

$$\Delta T = T_{\mathrm{x}} - T_{\mathrm{n}} \qquad (5)$$

式中：

Δ T——时间测量示值误差；

T_{x}——被校测试装置时间示值；

T_{n}——数字示波器实测值。

3 标准不确定度的评定

3.1 被校测试装置引入的标准不确定度 $u(T_{\mathrm{x}})$

$u(T_{\mathrm{x}})$主要来源于被校测试装置的测量重复性和分辨力引入的不确定度。

在重复性条件下，被校测试装置连续独立测量 10 次，采用 A 类方法进行评定。测量数据见表 9。

表 9 被校测试装置 10ms 校准点重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（ms）	10.03	10.03	10.03	10.05	10.02	10.02	10.04	10.06	9.98	9.98

由贝塞尔公式计算 s(T_{x})=0.0262 ms，则由测量重复性引入的标准不确定度为：u_1=s(T_{x})=0.0262 ms。

被校测试装置示值分辨力为 0.01 ms，其半宽度 a=0.005 ms,采用 B 类方法进

行评定，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$，由分辨力引入的标准不确定度$u_2=\frac{a}{k}=\frac{0.005}{\sqrt{3}}\approx 0.0029$ ms。因重复性分量大于分辨力分量，取 $u(T_x)=u_1=0.262$ ms。

3.2 标准装置引入的标准不确定度 $u(T_n)$

$u(T_n)$主要来源于标准装置的示值误差，采用 B 类方法评定。

标准装置时间最大允许误差±0.1%，区间半宽度 $a=0.01$ ms，在区间内可以认为均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$，标准不确定度$u_3=\frac{a}{k}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}\approx 0.00577$ ms。则标准装置引入的标准不确定度：$u(T_n)=u_3=0.00577$ ms

4 合成标准不确定度的评定

表 10 时间测量示值误差的标准不确定度汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(T_x)$	被校测试装置引入	0.0262 ms	1
$u(T_n)$	标准装置引入	0.00577 ms	−1

$$u_c=\sqrt{c_1^2\cdot u^2(I_x)+c_2^2\cdot u^2(I_n)}\approx 0.0268 \text{ ms}$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$，扩展不确定度：$U=k\cdot u_c=2\times 0.0268\approx 0.054$ ms

6 不确定度报告

校准点为 10 ms 时，时间测量示值误差的扩展不确定度 $U=0.054$ ms，$k=2$；相对扩展不确定度 $U_{rel}=\frac{0.054}{10}\times 100\%\approx 0.54\%$，$k=2$。

六、纹波系数校准结果不确定度评定示例

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.8 条规定的校准方法，设置示波器带宽 20 MHz、1 MΩ、交流耦合。被校测试装置输出电压设定为量程 100%（1500 V），由高压差分探头分压后经数字示波器测量电压交流分量。

2 数学模型

纹波系数按公式（6）建立测量模型：

$$D_{\mathrm{U}}=\frac{KU_{AC}}{U_{DC}}\times 100\%\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（6）$$

式中：

D_{U}——纹波系数；

K——高压差分探头分压比系数；

U_{AC}——电压交流分量实测值；

U_{DC}——被校测试装置直流电压输出值。

3 标准不确定度的评定

各不确定度来源互不相关，采用 B 类方法以相对形式评定：

（1）高压差分探头最大允许误差±2%，$u_{1rel}=\frac{2\%}{\sqrt{3}}\approx 1.155\%$；

（2）数字示波器垂直增益最大允许误差±1%，$u_{2rel}=\frac{1\%}{\sqrt{3}}\approx 0.577\%$；

（3）被校测试装置直流电压输出值（1500 V）分辨力为 0.1 V，$u_{3rel}\approx 0.002\%$，可忽略。

4 合成标准不确定度的评定

$$u_{\mathrm{crel}}=\sqrt{u_{1\mathrm{rel}}^2+u_{2\mathrm{rel}}^2}=\sqrt{1.155\%^2+0.577\%^2}\approx 1.291\%$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k =2，相对扩展不确定度：$U_{rel}=k\cdot u_{\mathrm{crel}}$=2×1.291%≈2.6%，纹波系数的$D_U=\frac{100\times 0.085}{1500}\times 100\%\approx 0.57\%$，扩展不确定度：$U$=0.57%×2.6%≈0.014%

6 不确定度报告

当输出电压 1500 V、分压比系数 K=100、交流分量实测值 0.085 V 时，纹波系数 D_{U}=0.57%，扩展不确定度 U=0.014%，k =2，即：

当 D_{U}=0.57%时，U=0.014%，k =2。

七、短期稳定性校准结果不确定度评定

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.9 条规定的校准方法，以输出电压短期稳定性为例，被校测试装置输出电压设定为量程 100%（1500 V），在 10 min 内按一定记录

间隔由数字高压表记录测量值，取最大值与最小值。输出电流短期稳定性评定方法相同。

1.3 测量标准：数字高压表，最大允许误差±0.2%。该准确度优于本规范 6.2.4 规定的±0.5%，按 6.2 注可使用其他符合要求的计量器具。

2 数学模型

输出电压短期稳定性按公式（7）建立测量模型：

$$S_{ev}=\frac{U_{max}-U_{min}}{U}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（7）$$

式中：

S_{ev}——被校测试装置输出电压稳定性；

U_{max}——规定的时间间隔内数字多用表测得的电压最大值；

U_{min}——规定的时间间隔内数字多用表测得的电压最小值；

U ——被校测试装置输出电压的设定值。

3 标准不确定度的评定

3.1 测量重复性引入的不确定度（A 类）

在重复性条件下，对输出电压短期稳定性连续独立测量 3 组，每组在 10 min 内按一定的记录间隔记录数字高压表测量值，分别取最大值 Umax 与最小值 U_{min}，按公式（1）计算稳定性，测量数据见表 11。

表 11　输出电压短期稳定性 3 组重复性测量数据

组数	1	2	3
Umax（V）	1500.28	1500.34	1500.23
Umin（V）	1499.71	1499.65	1499.78
ΔU（V）	0.57	0.69	0.45
Sev（%）	0.038	0.046	0.030

3 组测量结果中稳定性最大值为 0.046%、最小值为 0.030%，极差 R=0.016%，平均值为 0.038%。测量次数 n=3，采用极差法（极差系数 C=1.69）计算实验标准差：

$$s = \frac{R}{C} = \frac{0.016\%}{1.69} \approx 0.0095\%$$

以 3 组测量结果的平均值作为稳定性测量结果，由测量重复性引入的标准不确定度：

$$u_{\mathrm{A}} = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.0095\%}{\sqrt{3}} \approx 0.0055\%$$

3.2 数字高压表引入的不确定度（B 类）

数字高压表示值误差引入的不确定度，采用 B 类方法评定：数字高压表最大允许误差±0.2%，区间半宽度 a =0.2%，按均匀分布，取包含因子 k =$\sqrt{3}$，单次测量的相对标准不确定度：

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} \approx 0.115\%$$

每组测量中 Umax 与 Umin 各由一次测量得到，两者不相关，故：

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min}$$

$$u(\Delta U) = \sqrt{2} \cdot u_1 = \sqrt{2} \times 0.115\% \approx 0.163\%$$

4 合成标准不确定度的评定

由测量重复性引入的相对标准不确定度 u_{A}≈0.0055%与数字高压表引入的 u_{B}≈0.163%互不相关，按平方和根合成。A 类分量远小于 B 类分量，合成标准不确定度主要由数字高压表引入。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.0055\%^2 + 0.163\%^2} \approx 0.163\%$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k =2，扩展不确定度：U=k • u_c=2×0.163%≈0.33%

6 不确定度报告

输出电压设定值 1500 V，10 min 内测得 $U_{\max}$=1500.28 V、$U_{\min}$=1499.71 V，则：

$S_{ev} = \frac{1500.28-1499.71}{1500} \times 100\% \approx 0.038\%$，$U \approx 0.33\%$，$k$ =2。

八、时间常数校准结果不确定度评定示例

1 概述

1.1 测量环境条件：环境温度为 23 ℃，相对湿度 65%。

1.2 测量方法：采用本规范第 7.2.10 条规定的校准方法，在校准瞬态电流的状态下，由直流电流测量标准装置直接给出时间常数实测值，典型值为 0.1 ms。

1.3 测量标准：直流电流测量标准装置，时间测量最大允许误差±0.1%。符合本规范 6.2.3 的要求。

2 数学模型

时间常数按公式（8）建立测量模型：

$$\tau = \tau_n \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（8）$$

式中：

τ ——被校测试装置时间常数；

τ_n——标准装置实测值。

3 标准不确定度的评定

3.1 测量重复性引入的不确定度

在重复性条件下对同一校准状态连续独立测量 10 次，测量数据见表 12，采用 A 类方法进行评定。

表 12 时间常数重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值（ms）	0.1002	0.1003	0.1001	0.1002	0.1003	0.1002	0.1002	0.1001	0.1002	0.1002

10 次平均值为 0.1002 ms，单次实验标准差 $s(\tau)$=0.00007 ms，由重复性引入的相对标准不确定度：

$$u_{1rel} = \frac{s(\tau)}{\bar{\tau}} \times 100\% = \frac{0.00007}{0.1002} \times 100\% \approx 0.070\%$$

3.2 标准装置示值误差引入的不确定度

标准装置时间最大允许误差±0.1%，区间半宽度 a =0.1%，按均匀分布，取包含因子 k =$\sqrt{3}$：

$$u_{2rel} = \frac{a}{k} = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.058\%$$

4 合成标准不确定度的评定

$$u_{crel} = \sqrt{u_{1rel}^2 + u_{2rel}^2} = \sqrt{0.070^2 + 0.058^2} \approx 0.091\%$$

5 扩展不确定度的评定

取包含因子 k =2，扩展不确定度：U=k • u_c=2×0.091%≈0.18%

6 不确定度报告

时间常数实测值 0.1002 ms 时，扩展不确定度 U=0.1002×0.18%≈0.00018 ms，k =2；相对扩展不确定度 U_{rel}= 0.18%，k =2。