**《绝缘电阻表检定规程》**

**测量不确定度评定**

绝缘电阻表检定规程制定组

2024年04月

绝缘电阻表测量不确定度分析

1. 绝缘电阻示值测量不确定度评定
2. 测量条件及方法

环境条件：温度为23.5℃，湿度54%RH。

测量标准：ZX119-10兆欧表检定装置，最高测试电压为10 kV，电压测量最大允许误差为±（1%RD+2D），具体技术参数见下表。

表1　 ZX119-10技术参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 步进盘阻值（Ω） | ×1011 | ×1010 | ×109 | ×108 | ×107 | ×106 | ×105 | ×104 | ×103 | ×102 |
| 步进盘位数 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 准确度等级 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

被测对象：ZC25-3型绝缘电阻表，准确度等级为10级，额定电压500V。

测量依据：JJG622《绝缘电阻表》检定规程。

测量方法：依据本规程规定的方法进行检定，记录测量结果。

1. 测量模型、方差及灵敏度系数

$Δ$*R*=*R*x-*R*s （1）

式中：

$Δ$*R*----绝缘电阻示值误差，MΩ；

*R*x----绝缘电阻示值，MΩ；

*R*s----绝缘电阻实测值，MΩ。

方差和灵敏度系数依据公式：

$u\_{c}^{2}（y）$*=*$\sum\_{}^{}（∂f/∂u\_{i}）^{2}u^{2}（u\_{i}）$

由式（1）得：$u\_{c}^{2}$*=c*2（$R\_{x}$）*u*2（$R\_{x}$）*+c*2（$R\_{s}$）*u*2（$R\_{s}$）

其中：*c*（$R\_{x}$）=$∂f/∂（R\_{x}）$=1

 *c*（$R\_{s}$）=$∂f/∂（R\_{s}）$=-1

故方差为：$u\_{c}^{2}$*= u*2（$R\_{x}$）+ *u*2（$R\_{s}$）

1. 不确定度分量来源
2. 由测量重复性引入的标准不确定度$u\_{1}$
3. 标准器的准确度引入的标准不确定度$u\_{2}$

环境温湿度条件，电源电压、频率及谐波畸变率、操作方法等均符合方法要求，因此忽略不计。

1. 标准不确定度评定

### 测量重复性引入的标准不确定度$u\_{1}$

在重复条件下，测量电阻值5 MΩ点重复测量10次，获得数据如表2。

表2 绝缘电阻测量结果数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测量次数*i* | 实测值*R*i（MΩ） |
| 1 | 4.99 |
| 2 | 5.01 |
| 3 | 5.01 |
| 4 | 5.00 |
| 5 | 4.99 |
| 6 | 4.99 |
| 7 | 5.00 |
| 8 | 4.99 |
| 9 | 5.00 |
| 10 | 5.00 |

测量结果的平均值：

$\overline{R}$= $\frac{1}{n}\sum\_{i=1}^{10}R\_{i}$=4.998 MΩ

单次测量值的实验标准差：

*s*=$\sqrt{\frac{\sum\_{i=1}^{10}（R\_{i}-\overline{R})^{2}}{（n-1)}}$=0.00789 MΩ

在实际的检定工作中，每个测量点只测量1次，由测量重复性引入的标准不确定度为：

$u\_{1}$$u\_{1}(U\_{x})$=*s*=0.00789 MΩ

### 标准器的准确度引入的标准不确定度$u\_{2}$

测量5MΩ时，使用步进值为1MΩ的测量盘，其最大允许误差为±0.2%，故测量5MΩ时其最大允许误差为±（0.2%×5 MΩ）=±0.01 MΩ，在区间内可认为均匀分布，取包含因子*k*=$\sqrt{3}$，则：

$u\_{2}$=0.01/$\sqrt{3}$ MΩ=0.00577 MΩ

### 被检仪器的变化引入的标准不确定度$u\_{3}$

被检绝缘电阻表的分辨力是由被检表的指针宽度和标度尺的长度确定的。ZC25-3型绝缘电阻表在范围2 MΩ～10 MΩ内的标尺刻度可以近似认为是线性的，指针宽度为0.1mm，相邻两格距离为5mm。由此估算在绝缘电阻表5 MΩ刻度附近，由指针宽度，视觉误差、指针抖动引入的不确定度分量为0.1mm/5mm\*100%=2%，设为均匀分布，取包含因子*k*=$\sqrt{3}$，则：

$u\_{3}$=5×2%/$\sqrt{3}$ MΩ= 0.0577 MΩ

### 合成标准不确定度*u*c

根据测量模型，由于各输入量间相互独立，依据方差计算公式合成：

$u\_{c}^{2}$*=* $（\left|c\_{1}\right|u\_{1}）^{2}+（\left|c\_{2}\right|u\_{2}）^{2}+（\left|c\_{3}\right|u\_{3}）^{2}$

式中：

$c\_{1}$= *c*（$R\_{s}$）=$∂f/∂（R\_{s}）$=-1

$c\_{2}$= *c*（$R\_{x}$）=$∂f/∂（R\_{x}）$=1

$c\_{3}$= *c*（$R\_{s}$）=$∂f/∂（R\_{s}）$=-1

### 不确定度分量汇总见表3。

表3 绝缘电阻表不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度 | 不确定度来源 | 灵敏系数*ci* | 标准不确定度的值$$u\_{i}$$ | $$\left|c\_{i}\right|u\_{i}$$ |
| $$u\_{1}$$ | 测量重复性 | -1 | 0.00789 MΩ | 0.00789 MΩ |
| $$u\_{2}$$ | 标准器的准确度 | 1 | 0.00577MΩ | 0.00577MΩ |
| $$u\_{3}$$ | 被检仪器的变化 | -1 | 0.0577MΩ | 0.0577MΩ |

根据测量模型，由于各输入量间不相关,合成不确定度*u*c为：

$u$c=$\sqrt{（\left|c\_{1}\right|u\_{1}）^{2}+（\left|c\_{2}\right|u\_{2}）^{2}+（\left|c\_{3}\right|u\_{3}）^{2}}$=0.059 MΩ

### 扩展不确定度

*U*=*k*·$u$c，取包含因子*k*＝2。可得到检定点5 MΩ的扩展不确定度为：

*U*=*k*$u$c=0.12 MΩ

即在5MΩ时，测量结果为5.00MΩ，*U*=0.12 MΩ（*k*=2）。

换算至相对扩展不确定度为：

*U*rel=2.4%，*k*=2

1. 输出电压示值不确定度评定
2. 测量条件及方法

环境条件：温度为23.5℃，湿度54%RH。

测量标准：ZX119-10兆欧表检定装置，最高测试电压为10 kV，电压测量最大允许误差为±（1%RD+2D）。

被测对象：ZC25-3型绝缘电阻表，准确度等级为10级，额定电压500V。

测量依据：JJG622-xxxx《绝缘电阻表》检定规程。

测量方法：依据本规程第XXX条中方法进行检定，记录测量结果。

1. 测量模型、方差和灵敏度系数

$ΔV$=*V*x-*V*s

式中：

$Δ$*V*--输出电压示值误差，V；

*V*x--输出电压示值，V；

*V*s--输出电压实测值，V。

方差和灵敏度系数依据公式：

$u\_{c}^{2}（y）$*=*$\sum\_{}^{}（∂f/∂u\_{i}）^{2}u^{2}（u\_{i}）$

由式（1）得：$u\_{c}^{2}$*=c*2（$V\_{x}$）*u*2（$V\_{x}$）*+c*2（$V\_{s}$）*u*2（$V\_{s}$）

其中：*c*（$V\_{x}$）=$∂f/∂（V\_{x}）$=1

 *c*（$V\_{s}$）=$∂f/∂（V\_{s}）$=-1

故方差为：$u\_{c}^{2}$*= u*2（$V\_{x}$）+ *u*2（$V\_{s}$）

1. 不确定度分量来源
2. 测量重复性引入的标准不确定度$u\_{1}$
3. 标准器允许误差引入的标准不确定度$u\_{2}$
4. 温湿度的变化引起的仪器特性的改变引入的标准不确定度$u\_{3}$

环境温湿度条件，电源电压、频率及谐波畸变率、操作方法等均符合方法要求，因此$u\_{3}$忽略不计。

1. 标准不确定度评定
	* 1. 测量重复性引入的标准不确定度$u\_{1}$

在重复条件下，测量额定电压为500V的点，重复测量10次，获得数据如表4：

表4输出电压测量结果数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测量次数*i* | 实测值*V*i（V） |
| 1 | 500.5 |
| 2 | 500.2 |
| 3 | 500.1 |
| 4 | 500.2 |
| 5 | 500.5 |
| 6 | 500.4 |
| 7 | 500.5 |
| 8 | 500.5 |
| 9 | 500.5 |
| 10 | 500.3 |

平均值$\overline{V}$= $\frac{1}{n}\sum\_{i=1}^{10}V\_{i}$=500.37V

单次实验标准差*s*=$\sqrt{\frac{\sum\_{i=1}^{10}（V\_{i}-\overline{V})^{2}}{（n-1)}}$=0.157V

在实际的检定工作中，每个测量点只测量1次，由测量重复性引入的标准不确定度为：

*u*1= *s* =0.157V

* + 1. 标准器最大允许误差引入的标准不确定度$u\_{2}$，获得数据见表5：

测量500V时，标准器输出电压最大允许误差为±（1%RD+2D），故测量500V时其最大允许误差为±（1%×500V+0.2V）=±5.2V，在区间内可认为均匀分布，取包含因子*k*=$\sqrt{3}$，则标准不确定度的值*u2*：

$u\_{2}$=5.2/$\sqrt{3}$ V=3.002V

* + 1. 合成标准不确定度

根据方差计算公式合成：

$u\_{c}^{2}$*=* $（\left|c\_{1}\right|u\_{1}）^{2}+（\left|c\_{2}\right|u\_{2}）^{2}$

式中：

$c\_{1}$= *c*（$V\_{x}$）=$∂f/∂（V\_{x}）$=1

$c\_{2}$= *c*（$V\_{s}$）=$∂f/∂（V\_{s}）$=-1

不确定度分量的汇总见表5：

表5输出电压不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度符号 | 不确定度来源 | 灵敏系数*ci*  | 标准不确定度的值$u\_{i}$ | $$\left|c\_{i}\right|u\_{i}$$ |
| $$u\_{1}$$ | 测量重复性 | 1 | 0.0496V | 0.0496V |
| $$u\_{2}$$ | 标准器最大允许误差 | -1 | 3.002V | 3.002V |

根据测量模型，由于各输入量间不相关,合成不确定度*u*c为：

*u*c= $\sqrt{（\left|c\_{1}\right|u\_{1}）^{2}+（\left|c\_{2}\right|u\_{2}）^{2}}=$ 3.0V

* + 1. 扩展不确定度

*U*=*k*·$u$c，取包含因子*k*＝2。可得到检定点500V测量结果的扩展不确定度：

*U*= *kuc*=2×3.0V=6.0V

即在500V时，扩展不确定度*U*=6.0V（*k*=2)。

换算至相对扩展不确定度为：

*U*rel=1.2%，*k*=2