**《损耗因数计量器具检定系统表》**

**测量不确定度评定**

损耗因数检定系统表起草组

2023年04月15日

适用于损耗因数的测量不确定度的评定与表示。依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行评定。

一、标准电容器损耗因数测量不确定度评定（替代法）

1、测量方法

用LCR测量仪作为替代装置，其分辨率为 1×10-6；100 nF标准电容器的损耗因数实际值为=1.5×10-4，测量不确定度为*U*=5×10-5 (*k*=2)；100 nF被测电容器的损耗因数最大允许值为2×10-3。测量频率为1 kHz，评定损耗因数测量不确定度过程如下。

2、测量模型

在符合规定环境条件下，温度、湿度、电磁干扰等带来的影响可忽略，测量模型可用公式(1)表示。

 (1)

式中：

—被测电容器损耗因数实际值；

—测量装置测量被测电容器损耗因数的示值；

—测量装置测量标准电容器损耗因数的示值；

—标准电容器损耗因数的实际值。

不确定度传播可用公式（2）表示。

 (2)

式中：

—被测电容器损耗因数实际值的合成标准不确定度；

—标准电容器损耗因数引入的不确定度分量；

—测量装置引入的不确定度分量。

3、不确定度来源

由测量模型可知，测量不确定度来源主要有：测量重复性引入的不确定度分量、标准电容器损耗因数引入的不确定度分量、测量装置分辨力引入的不确定度分量和测量装置短期稳定性引入的不确定度分量。

4、标准不确定度评定

(1) 测量重复性引入的标准不确定度

在重复性条件下，进行10次独立重复测量，通过A类方法进行评定，得到的测量结果如附表1所示。

表1 重复性测量数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测量次数 | 损耗因数实测值 |
| 第1次 | 3.2×10-4 |
| 第2次 | 3.2×10-4 |
| 第3次 | 3.1×10-4 |
| 第4次 | 3.0×10-4 |
| 第5次 | 3.0×10-4 |
| 第6次 | 3.1×10-4 |
| 第7次 | 3.1×10-4 |
| 第8次 | 3.1×10-4 |
| 第9次 | 3.1×10-4 |
| 第10次 | 3.1×10-4 |

平均值 ≈3.1×10-4

标准偏差 

单次测量结果的标准不确定度为≈7×10-6。

(2) 标准电容器引入的标准不确定度

标准电容器损耗因数实际值的测量不确定度为5×10-5 (*k*=2)，通过B类方法进行评定，按正态分布计算，则由标准电容器引入的标准不确定度为。

(3) 测量装置分辨力引入的标准不确定度

测量装置分辨力为1×10-6，通过B类方法进行评定，按均匀分布计算，则由测量装置分辨力引入的标准不确定度为≈3×10-7。因为＜，只取进行评定。

(4) 测量装置的短期稳定性引入的标准不确定度

短期稳定性估计量为校准装置分辨力的2倍，通过B类方法进行评定，按均匀分布计算，则由测量装置短期稳定性引入的标准不确定度为。

5、合成标准不确定度

各输入量互不相关，且灵敏系数为1，则合成标准不确定度为

≈。

6、扩展不确定度

取包含因子*k*=2，测量不确定度为=2×≈ (*k*=2)。

二、损耗箱测量不确定度评定（直接测量法）

1、测量方法

用损耗因数工作基准装置作为测量装置，直接测量十进位电容箱损耗箱。测量装置的技术指标为；被测损耗箱技术指标为。以被校点0.01点为例，测量频率为100 Hz，评定损耗因数测量不确定度过程如下。

2、测量模型

在符合规定环境条件下，温度、湿度、电磁干扰等带来的影响可忽略，测量模型可用公式(3)表示。

 (3)

式中：

—电容箱被校点的损耗因数实际值；

—测量装置测量被测点的损耗因数实际值。

不确定度传播可用公式（4）表示。

 (4)

式中：

—被测点损耗因数实际值的合成标准不确定度；

—测量装置引入的不确定度分量。

3、不确定度来源

由测量模型可知，测量不确定度由测量装置的损耗因数测量值的不确定度所决定。的不确定度来源主要有：测量重复性引入的不确定度分量、测量装置引入的不确定度分量和测量装置分辨力引入的不确定度分量。

4、标准不确定度评定

(1) 测量重复性引入的标准不确定度

在重复性条件下，对损耗箱被测点进行10次独立重复测量，通过A类方法进行评定，得到的测量结果如表2所示。

平均值 

标准偏差 

单次测量结果的标准不确定度为=。

表2 被测点损耗因数重复性测量数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测量次数 | 实测值 |
| 第1次 | 0.01001 |
| 第2次 | 0.01001 |
| 第3次 | 0.01001 |
| 第4次 | 0.01002 |
| 第5次 | 0.01002 |
| 第6次 | 0.01002 |
| 第7次 | 0.01001 |
| 第8次 | 0.01001 |
| 第9次 | 0.01001 |
| 第10次 | 0.01001 |

(2) 测量装置引入的标准不确定度

测量装置的技术指标为，被测点0.01符合最大允许误差为的技术指标，通过B类方法进行评定，按均匀分布计算，则由其引入的标准不确定度为≈。

(3) 测量装置分辨力引入的标准不确定度

测量装置分辨力为，通过B类方法进行评定，按均匀分布计算，则由测量装置分辨力引入的标准不确定度为。因为＜，只取进行评定。

5、合成标准不确定度

各输入量互不相关，且灵敏系数为1，则合成标准不确定度为

≈

6、扩展不确定度 

取包含因子*k*=2，测量不确定度为=2×≈ (*k*=2)。

三、高压电容电桥测量不确定度的评定（直接测量法）

1、测量方法

用高压电容电桥整检装置作为标准装置，测量KMSB30型高压电容电桥。高压电容电桥整检装置中并联损耗因数的技术指标为；被测量高压电容电桥损耗因数的技术指标为。测量频率为50 Hz，不确定度评定过程如下。

2、测量模型

在符合规定环境条件下，温度、湿度、电磁干扰等带来的影响可忽略。用高压电容电桥直接测量整检装置的损耗因数，获得损耗因数的误差为

 (5)

式中：

— 被检高压电容电桥损耗因数示值误差；

— 被检高压电容电桥损耗因数示值；

— 标准装置损耗因数标准值。

不确定度传播可用公式(6)表示。

 (6)

式中：

—被校点损耗因数实际值的合成标准不确定度；

—标准损耗标准器引入的不确定度分量；

—数据重复性引入的不确定度分量。

3、不确定度来源

由测量模型可知，不确定度来源主要有：测量重复性引入的不确定度分量、标准装置引入的不确定度分量、分辨力引入的不确定不确定度分量。

4、标准不确定度评定

(1) 测量重复性引入的标准不确定度

在重复性条件下，进行10次独立重复测量，通过A类方法进行评定，得到的测量结果如表3所示。

表3 被测量点损耗因数的重复性数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 标准值0.0001 | 标准值0.001 | 标准值0.01 | 标准值0.1 |
| 1 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099940 |
| 2 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099940 |
| 3 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099940 |
| 4 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099940 |
| 5 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099943 |
| 6 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099943 |
| 7 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009990 | 0.099943 |
| 8 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009989 | 0.099942 |
| 9 | 0.000100 | 0.001000 | 0.009991 | 0.099942 |
| 10 | 0.000100 | 0.001001 | 0.009991 | 0.099942 |
| 平均值 | 0.000100 | 0.0010001 | 0.0099901 | 0.0999415 |
| 标准偏差 | 0.000000 | 0.0000003 | 0.0000006 | 0.0000014 |

通过贝塞尔公式获得标准不确定度。

(2) 由标准装置引入的标准不确定度

按B类标准不确定评定，经上级部门计量，标准装置损耗因数技术指标为±(0.1%×D+1×10-5)，按均匀分布考虑，故由标准装置引入的标准不确定度分量为：

=(1.0×10-3|D|+1×10-5)/=5.8×10-4|D|+5.8×10-6

(3) 分辨力引入的标准不确定度

按B类标准不确定评定，高压电容电桥损耗因数的分辨力为0.000001，按均匀分布考虑,

=1×10-6/=0.3×10-6

分辨率引入的不确定分量小于数据分散性引入的不确定度分量，故可忽略。

5、合成标准不确定度

各输入量互不相关，且灵敏系数为1，则合成标准不确定度为



6、扩展不确定度 

取包含因子*k*=2，测量不确定度为=2×，(*k*=2)。不确定度汇总如表4所示。

表4 被测量点损耗因数的不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 标准值0.0001 | 标准值0.001 | 标准值0.01 | 标准值0.1 |
|  | 0.0×10-6 | 0.3×10-6 | 0.6×10-6 | 1.4×10-6 |
|  | 5.8×10-6 | 6.4×10-6 | 12×10-6 | 64×10-6 |
|  | 0.3×10-6 | 0.3×10-6 | 0.3×10-6 | 0.3×10-6 |
|  | 5.8×10-6 | 6.4×10-6 | 12×10-6 | 64×10-6 |
|  | 1.2×10-5 | 1.3×10-5 | 2.4×10-5 | 1.3×10-4 |