# 

# 静电激励器电源不确定度评定报告

静电激励器电源校准规范起草小组

2024.7

# 静电激励器电源测量不确定度评定

F.1　引言

静电激励器电源的主要计量性能为信号增益、输出电压（直流）和频率响应，本次将对以上参数进行不确定度评定。

F.2信号增益测量的不确定度评定

F.2.1　测量模型



式中：

——静电激励器电源的信号增益，dB；

**——静电激励器电源的输出电压（交流），V；

**——信号发生器的输出电压，V。

F.2.2　标准不确定度评定

不确定度的主要来源包括：测量重复性、数字电压表、数据修约等。

1）测量重复性引入的标准不确定度分量*u*1

信号增益的校准结果见表F.1，以其标准偏差作为重复性引入的不确定度分量。

表F.1信号增益校准结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | *δf*/dB | | | | | | 平均值/dB | 标准偏差/dB |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 250 | 25.65 | 25.66 | 25.64 | 25.67 | 25.68 | 25.67 | 25.66 | 0.015 |
| 1000 | 25.67 | 25.69 | 25.66 | 25.68 | 25.69 | 25.68 | 25.68 | 0.012 |

2）数字电压表测量*Uo*的值引入的标准不确定度分量*u*2

数字电压表的误差限为1.0%，按均匀分布考虑，数字电压表测量引入的不确定度分量为：

（dB）

3）数字电压表测量*Ui*的值引入的标准不确定度分量*u*3

数字电压表的误差限为1.0%，按均匀分布考虑，数字电压表测量引入的不确定度分量为：

（dB）

4）数据修约等其他因素引入的标准不确定度分量*u*4

估计其他因素引入的标准不确定度为0.01 dB。

F.2.3合成标准不确定度

以上分量独立无关，在频率为1000Hz时，合成标准不确定度为

=0.07dB。

F.2.4 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度*U*=*ku*c ,从而得到信号增益的测量结果扩展不确定度，*U*=0.2dB，*k*=2 。

F.3输出电压（直流）测量的不确定度评定

F.3.1　测量模型



式中：

——静电激励器电源的输出电压（直流），V；

**——测量系统（含示波器和衰减器）测得的电压值，V。

F.3.2　标准不确定度评定

不确定度的主要来源包括：测量重复性、示波器、衰减器的线性、数据修约等。

1）测量重复性引入的标准不确定度分量*u*1

输出电压（直流）的校准结果见表F.2，以其标准偏差作为重复性引入的不确定度分量。

表F.2输出电压（直流）校准结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均值 | 标准偏差 |
| 输出电压直流/V | 855.2 | 852.6 | 853.9 | 854.9 | 853.1 | 853.5 | 853.9 | 1.02 |

2）示波器引入的标准不确定度分量*u*2

由上级证书可知，示波器的扩展不确定度为*Urel*=0.1%，*k*=2，在测得值时的不确定度分量*u*5约等于0.425V。

3）高压高阻衰减器引入的标准不确定度分量*u*3

由上级证书可知，高压高阻衰减器的扩展不确定度为*Urel*=0.05 % ，*k*=2，在测得值时的不确定度分量*u*5约等于0.213V。

4）数据修约等其他因素引入的标准不确定度分量*u*4

估计其他因素引入的标准不确定度为0.8V。

F.3.3合成标准不确定度

以上分量独立无关，合成标准不确定度为

=1.38 V。

F.3.4 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度*U*=*ku*c ，从而得到输出电压的测量结果扩展不确定度：*U*=2.8V，*k*=2 。

F.4频率响应测量的不确定度评定

F.4.1　测量模型



式中：

*δ*i——被校频率下的静电激励器响应级，dB；

**——参考频率下的输出电压，dB；

**——被校频率下的输出电压，dB。

F.4.2　标准不确定度评定

不确定度的主要来源包括：测量重复性、信号发生器的频率响应、静电激励器、哑头、前置放大器、声分析仪、数据修约等。

1）测量重复性引入的标准不确定度分量*u*1

频率响应的校准结果见表F.3，以其标准偏差作为重复性引入的不确定度分量。

表F.3频率响应测量重复性引入的标准不确定度分量*u*1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率  /Hz | *δf*/dB | | | | | | 平均值  dB | 标准偏差dB |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 20 | -0.09 | -0.10 | -0.09 | -0.09 | -0.10 | -0.08 | -0.09 | 0.007 |
| 25 | -0.09 | -0.08 | -0.09 | -0.08 | -0.08 | -0.08 | -0.08 | 0.005 |
| 31.5 | -0.08 | -0.07 | -0.08 | -0.07 | -0.07 | -0.08 | -0.07 | 0.005 |
| 40 | -0.05 | -0.06 | -0.07 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | 0.004 |
| 50 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | 0.001 |
| 63 | -0.04 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | 0.004 |
| 80 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.03 | -0.02 | -0.03 | -0.03 | 0.006 |
| 100 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | 0.001 |
| 125 | -0.01 | -0.02 | -0.01 | -0.02 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.005 |
| 160 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.001 |
| 200 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.000 |
| 250 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | 0.001 |
| 315 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 400 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 500 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 630 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 800 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 1000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 1250 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 1600 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 2000 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.001 |
| 2500 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.001 |
| 3150 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 4000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 5000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 6300 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 8000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.001 |
| 10000 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.001 |
| 12500 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | 0.000 |
| 16000 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | 0.001 |
| 20000 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | 0.001 |
| 25000 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | 0.001 |
| 31500 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | 0.001 |
| 40000 | -0.05 | -0.05 | -0.05 | -0.06 | -0.06 | -0.06 | -0.05 | 0.001 |
| 50000 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.03 | 0.001 |

2）信号发生器的频率响应引入的标准不确定度分量*u*2

由上级证书可知，信号发生器的频率响应优于±0.02dB，其引入的标准不确定度按均匀分布估计，则信号源稳定度引入的不确定度分量：

dB

3）静电激励器电压—声压转换引入的标准不确定度分量*u*3

静电激励器引入的不确定度主要是由电压—声压转换引起的，参考制造商提供的数据，列于表F.5。

表F.4电压—声压转换等引入的标准不确定度分量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 20 | 100 | 125 | 250 | 500 | 4000 | 8000 | 12500 | 16000 | 20000 | 50000 |
| 电压—声压转换*u*3/dB | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.000 | 0.010 | 0.010 | 0.026 | 0.037 | 0.040 | 0.076 | 0.076 |

4）哑头的频率响应引入的标准不确定度分量*u*4

哑头的频率响应引入的不确定度，参考制造商提供的数据，列于表F.6。

表F.5哑头的频率响应引入的标准不确定度分量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 20 | 50 | 100 | 200 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 | 10000 | 20000 | 50000 |
| *u*4/dB | 0.023 | 0.018 | 0.014 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |

5）前置放大器的频率响应引入的标准不确定度分量*u*5

前置放大器的频率响应优于±0.01dB，其引入的标准不确定度按均匀分布估计，则前置放大器的频率响应引入的不确定度分量：

 dB

6）声分析仪的频率响应引入的标准不确定度分量*u*6

在20Hz～50kHz的频率范围内，声分析仪的频率响应优于±0.02dB，包含因子k=2，则声分析仪的频率响应引入的不确定度分量*u*6大约为0.01dB。

7）数据修约等其他影响因素引入的标准不确定度分量*u*7

估计其他因素引入的标准不确定度，他影响因素引入的标准不确定度分量*u*7，估计为0.01 dB。

F.4.3合成标准不确定度

静电激励器电源的频率响应的测量不确定度的来源及数值汇总于表F.5中。对于没提供数据的频率点，根据不确定度分量的规律，取相邻频率点的最大值。由于表中各分量独立无关，得到的合成标准不确定度*u*C见表F.5。

F.4.4扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则静电激励器电源频率响应的扩展不确定度见表F.5。

表F.6频率响应的测量不确定度分析

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 来源 | 符号 | 20 Hz | 25 Hz | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz | 250 Hz | 315 Hz | 400 Hz |
| 1 | 重复性 | *u*1 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.001 | 0.004 | 0.006 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 信号发生器 | *u*2 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 3 | 电压—声压转换 | *u*3 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 4 | 哑头 | *u*4 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 5 | 前置放大器 | *u5* | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| 6 | 声分析仪 | *u6* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 7 | 其他 | *u7* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 标准不确定度 | | *u*C | 0.080 | 0.033 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.028 | 0.029 | 0.029 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| 扩展不确定度（*k*=2） | | *U* | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

表F.5频率响应的测量不确定度分析（续）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 来源 | 符号 | 500 Hz | 630 Hz | 800 Hz | 1 kHz | 1.25 kHz | 1.6 kHz | 2 kHz | 2.5 kHz | 3.15 kHz | 4 kHz | 5 kHz | 6.3 kHz |
| 1 | 重复性 | *u*1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 2 | 信号发生器 | *u*2 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 3 | 电压—声压转换 | *u*3 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.026 | 0.026 |
| 4 | 哑头 | *u*4 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 5 | 前置放大器 | *u5* | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| 6 | 声分析仪 | *u6* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 7 | 其他 | *u7* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 标准不确定度 | | *u*C | 0.070 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.035 |
| 扩展不确定度（*k*=2） | | *U* | 0.14 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 |

表F.5灵敏度级的频率响应的测量不确定度分析（续）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 来源 | 符号 | 8 kHz | 10 kHz | 12.5 kHz | 16 kHz | 20 kHz | 25 kHz | 31.5 kHz | 40 kHz | 50 kHz |
| 1 | 重复性 | *u*1 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 2 | 信号发生器 | *u*2 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 3 | 电压—声压转换 | *u*3 | 0.026 | 0.037 | 0.037 | 0.040 | 0.076 | 0.076 | 0.076 | 0.076 | 0.076 |
| 4 | 哑头 | *u*4 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 5 | 前置放大器 | *u5* | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| 6 | 声分析仪 | *u6* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 7 | 其他 | *u7* | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 标准不确定度 | | *u*C | 0.035 | 0.044 | 0.044 | 0.046 | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 | 0.079 |
| 扩展不确定度（*k*=2） | | *U* | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |