



CNAS—GL07

**电磁干扰测量中不确定度的评定指南**  
**Guidance on Evaluating the Uncertainty**  
**in Electromagnetic Interference**  
**Measurement**

中国合格评定国家认可委员会

二〇〇六年六月

# 电磁干扰测量中不确定度的评定指南

## 1 目的与范围

**1.1** 本指南是采用国际电工委员会下属国际无线电干扰特别委员会（缩写为 CISPR）的标准 CISPR 16-4（First edition 2002-05）编制而成的，为 EMC 检测中电磁干扰测量时的不确定度评定提供指南。

**1.2** 在 EMC 检测中，如需考虑所使用的仪器引入的不确定度对测量结果或符合性判断结论的影响时，可以参考本指南。

**1.3** 本指南的附录 A 提供了为确定各测量不确定度分量而需要的有关数据信息。附录 A 不是用户指南，不希望用户在进行不确定度评定时照搬照抄。

**1.4** 本指南在文献目录中列出了部分不确定度评定的参考资料。

## 2 引用文件

JJF1059-1998 《测量不确定度的评定与表示》

JJF1001-1998 《通用计量术语及定义》

JJF1049-2003 《测量仪器特性的评定》

## 3 术语、定义和符号

本指南采用下列术语、定义和符号。

### 3.1 术语、定义

关于不确定度的术语和定义见 JJF1059-1998 《测量不确定度的评定及表示》；计量学通用名词术语和定义见 JJF1001-1998 《通用计量术语及定义》。

### 3.2 通用符号

$X_i$ : 输入量

$x_i$ :  $X_i$  的估计值

$u(x_i)$ :  $x_i$  的标准不确定度

$c_i$ : 灵敏系数

$y$ : 测量结果, 被测量的估计值, 对所有能识别的和明显的系统影响已修正的测量结果

$u_c(y)$ :  $y$  的合成标准不确定度

$k$ : 包含因子

$U$ :  $y$  的扩展不确定度

### 3.3 被测量

$V$ : 电压,  $\text{dB}_{\mu\text{V}}$

$P$ : 骚扰功率,  $\text{dB}_{\text{PW}}$

$E$ : 电场强度,  $\text{dB}_{\mu\text{V/m}}$

### 3.4 输入量

$V_r$ : 接收机电压读数,  $\text{dB}_{\mu\text{V}}$

$L_c$ : 接收机与人工电源网络、吸收钳或天线之间的连接网络的衰减量,  $\text{dB}$

注: “阻抗稳定网络” – 在 CISPR 16-4 原文中称为“人工电源网络”(Artificial Mains Network), 所以采用的缩写符号为 AMN。

$L_{\text{amn}}$ : 人工电源网络的电压分压系数,  $\text{dB}$

$L_{\text{ac}}$ : 吸收钳的插入损耗,  $\text{dB}$

$AF$ : 天线系数,  $\text{dB} (/\text{m})$

$\delta V_{\text{sw}}$ : 对接收机正弦波电压不准确的修正值,  $\text{dB}$

$\delta V_{\text{pa}}$ : 对接收机脉冲幅度响应不理想的修正值,  $\text{dB}$

$\delta V_{\text{pr}}$ : 对接收机脉冲重复频率响应不理想的修正值,  $\text{dB}$

$\delta V_{\text{nf}}$ : 对接收机本底噪声影响的修正值,  $\text{dB}$

$\delta M$ : 对失配误差的修正值,  $\text{dB}$

$\delta MD$ : 对电源骚扰造成的误差的修正值,  $\text{dB}$

$\delta Z$ : 对人工电源网络阻抗不理想的修正值,  $\text{dB}$

$\delta E$ : 对环境条件影响的修正值,  $\text{dB}$

$\delta AF_r$ : 对天线系数内插误差的修正值,  $\text{dB}$

$\delta AF_h$ : 对天线系数随高度变化与标准偶极子天线的天线系数随高度变化之

差别的修正值, dB

$\delta A_{dir}$ : 对天线方向性的修正值, dB

$\delta A_{ph}$ : 对天线相位中心位置的修正值, dB

$\delta A_{cp}$ : 对天线交叉极化响应的修正值, dB

$\delta A_{bal}$ : 对天线不平衡的修正值, dB

$\delta SA$ : 对不完善的场地衰减的修正值, dB

$\delta d$ : 对天线与被测件间距离测不准的修正值, dB

$\delta h$ : 对桌面离地面高度不适当的修正值, dB

## 4 测量仪器引入的不确定度

### 4.1 概述

当要判定是否符合骚扰的允许极限要求时, 必须考虑测量仪器引入的不确定度。对检测实验室而言, 应考虑下列各项测量不确定度分量, 对每个影响量的估计值 $x_i$ 应评定其标准不确定度 $u(x_i)$  (以分贝表示) 和灵敏系数 $c_i$ 。被测量的估计值 $y$ 的合成标准不确定度

$u_c(y)$  按下式计算:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 u^2(x_i)}$$

对检测实验室来说, 扩展不确定度按下式计算, 并应在检测报告中说明。

$$U_{LAB} = 2u_c(y)$$

注 1: 对大多数测量结果近似正态分布的典型情况, 包含因子取 $k = 2$ , 其置信水平近似为 95%。

是否符合骚扰的允许极限要求, 应按下述方式判定:

①假设 $U_{LAB}$ 小于或等于表 1 中列出的 $U_{cispr}$ , 则:

- 如果测得的骚扰都不超过骚扰极限值, 则可以判定为合格;
- 如果测得的骚扰超过骚扰极限值, 则可以判定为不合格。

②假设 $U_{LAB}$ 大于表 1 中列出的 $U_{cispr}$ , 则:

- 如果测得的骚扰加上（ $U_{\text{LAB}} - U_{\text{CISPR}}$ ）后不超过骚扰极限值，则可以判定为合格；
- 如果测得的骚扰加上（ $U_{\text{LAB}} - U_{\text{CISPR}}$ ）后超过骚扰极限值，则可以判定为不合格；

表 1  $U_{\text{CISPR}}$  的值

被测量	测量频率	$U_{\text{CISPR}}$
传导骚扰	9 k H z ~ 1 5 0 k H z	4 . 0 d B
	1 5 0 k H z ~ 3 0 M H z	3 . 6 d B
骚扰功率	3 0 M H z ~ 3 0 0 M H z	4 . 5 d B
辐射骚扰(在开阔场或替代场地上测得的电场强度)	3 0 M H z ~ 1 G H z	5 . 2 d B
其他		正在考虑中

注 2：表 1 中  $U_{\text{CISPR}}$  的值是基于附录 A 的数据、考虑了 4.2 ~ 4.4 的各项不确定度分量后确定的扩展不确定度，

本节的内容没有降低或取消测量装置应符合 CISPR16-1 标准中各项技术指标的要求。

4.2 电源端口传导骚扰测量要考虑的影响量

- 接收机读数
- 人工电源网络和接收机间连接网络的衰减
- 人工电源网络电压分压系数
- 接收机正弦波电压准确度
- 接收机脉冲幅度响应
- 接收机脉冲响应随重复频率的变化
- 接收机噪声本底
- 人工电源网络的接收机端口与接收机之间失配的影响
- 人工电源网络的阻抗

4.3 骚扰功率测量要考虑的影响量

- 接收机读数
- 吸收钳和接收机间连接网络的衰减
- 吸收钳的插入损耗
- 接收机正弦波电压准确度

- 接收机脉冲幅度响应
- 接收机脉冲响应随重复频率的变化
- 接收机噪声本底
- 吸收钳的接收机端口与接收机之间失配的影响
- 电源骚扰的影响
- 环境的影响

#### 4.4 在开阔场或替代测试场地进行辐射骚扰电场强度测量要考虑的影响量

- 接收机读数
- 天线和接收机间连接网络的衰减
- 天线系数
- 接收机正弦波电压准确度
- 接收机脉冲幅度响应
- 接收机脉冲响应随重复频率的变化
- 接收机噪声本底
- 天线端口与接收机之间失配的影响
- 天线系数的频率内插
- 天线系数随高度的变化
- 天线方向性
- 天线相位中心
- 天线交叉极化响应
- 天线平衡
- 测试场地
- 被测设备和测量天线之间的距离
- 安放被测设备的桌子的高度

附录 A

（资料性附录）

表 1 中  $U_{\text{cispr}}$  值的评定基础

A1 概述

以下各节概述了 E M C 检测中确定  $U_{\text{cispr}}$  的方法，对每项测量给出了主要测量不确定度分量及其评定结果。在第 5 节中叙述了各输入量是如何估计的及其不确定度分量是如何评定的，可供检测人员在实际评定测量不确定度时参考。

A2 电源端口的传导骚扰测量

被测量  $V$ 按下式计算：

$$V = V_r + L_c + L_{amn} + \delta V_{sw} + \delta V_{pa} + \delta V_{pr} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta Z$$

表 A1 传导骚扰测量的不确定度评定

（采用 50Ω / 50μH+5Ω的人工电源网络）(测量频率为 9kHz~150kHz)

输入量	$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ dB	$c_i$	$c_i u(x_i)$ dB
		dB	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)	$V_r$	±0.1	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减：A M N－接收机 2)	$L_c$	±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
A M N 电压分压系数 3)	$L_{amn}$	±0.2	$k=2$	0.10	1	0.10
接收机修正：						
正弦波电压 4)	$\delta V_{sw}$	±1.0	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)	$\delta V_{pa}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)	$\delta V_{pr}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)	$\delta V_{nf}$	±0.0		0.00	1	0.00
失配：A M N－接收机 7)	$\delta M$	+0.7/ -0.8	U 形	0.53	1	0.53
A M N 阻抗 8)	$\delta Z$	+3.1/ -3.6	三角形	1.37	1	1.37
因此， $U=2u_c(V) = 3.97\text{dB}$ 取两位有效数字为 4.0dB						
注:对有编号的不确定度分量的说明见第 A5 节						

表 A2 传导骚扰测量的不确定度评定  
(采用 50Ω / 50μH+5Ω的人工电源网络)  
(测量频率为 150kHz~30MHz)

输入量	$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$C_i$	$C_i u(x_i)$ (dB)
		$a$ (dB)	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)	$V_r$	±0.1	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减：A M N－接收机 2)	$L_c$	±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
A M N 电压分压系数 3)	$L_{amn}$	±0.2	$k=2$	0.10	1	0.10
接收机修正：						
正弦波电压 4)	$\delta V_{sw}$	±1.0	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)	$\delta V_{pa}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)	$\delta V_{pr}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)	$\delta V_{nf}$	±0.0		0.00	1	0.00
失配：A M N－接收机 7)	$\delta M$	+0.7/ -0.8	U 形	0.53	1	0.53
A M N 阻抗 8)	$\delta Z$	+2.6/ -2.7	三角形	1.08	1	1.08
因此， $U=2u_c(V) = 3.60\text{dB} = 3.6 \text{ dB}$						
注:对有编号的不确定度分量的说明见第 A5 节						

A3 骚扰功率测量

被测量  $P$  按下式计算：

$$P = V_r + L_c + L_{ac} - 10\log_{10}(50) + \delta V_{sw} + \delta V_{pa} + \delta V_{pr} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta MD + \delta E$$



表 A3    30MHz~300MHz 骚扰功率测量的不确定度评定

输入量	$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$c_i$	$c_i u(x_i)$ (dB)
		$a$ (dB)	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)	$V_r$	$\pm 0.1$	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减：吸收钳—接收机 2)	$L_c$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
吸收钳的插入损耗 3)	$L_{ac}$	$\pm 3.0$	$k=2$	1.50	1	1.50
接收机修正：						
正弦波电压 4)	$\delta V_{sw}$	$\pm 1.0$	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)	$\delta V_{pa}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)	$\delta V_{pr}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)	$\delta V_{nf}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
失配：吸收钳—接收机 7)	$\delta M$	$+0.7/-0.8$	U 形	0.53	1	0.53
电源骚扰的影响 10)	$\delta MD$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
环境影响 11)	$\delta E$	$\pm 0.8$	$k=1$	0.80	1	0.80
因此， $U=2u_c(P)=4.45$ dB取两位有效数字为 4.4 dB						
注:对有编号的不确定度分量的说明见第 A5 节						

A4 在开阔场或替代测试场地进行辐射骚扰电场强度的测量

被测量  $E$  按下式计算：

$$E = V_r + L_c + AF$$
$$+ \delta V_{sw} + \delta V_{pa} + \delta V_{pr} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta AF_f + \delta AF_h + \delta A_{dir}$$
$$+ \delta A_{ph} + \delta A_{cp} + \delta A_{bal} + \delta SA + \delta d + \delta h$$

**表 A4 30MHz~200MHz 水平极化辐射骚扰测量的不确定度评定**  
(采用双锥天线; 在 3m, 10m, 30m 距离上测量)

输入量		$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$c_i$	$c_i u(x_i)$ (dB)
			$a$ (dB)	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)		$V_r$	$\pm 0.1$	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减: 天线—接收机 2)		$L_c$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
双锥天线系数 12)		$AF$	$\pm 2.0$	$k=2$	1.00	1	1.00
接收机修正:							
正弦波电压 4)		$\delta V_{sw}$	$\pm 1.0$	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)		$\delta V_{pa}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)		$\delta V_{pr}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)		$\delta V_{nf}$	$\pm 0.5$	$k=2$	0.25	1	0.25
失配: 天线—接收机 7)		$\delta M$	$+0.9/-1.0$	U 形	0.67	1	0.67
双锥天线修正							
天线系数频率内插 13)		$\delta AF_f$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
天线系数高度偏差 14)		$\delta AF_h$	$\pm 0.5$	矩形	0.29	1	0.29
方向性差别 15)	3m	$\delta A_{dir}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	10m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
相位中心位置 16)	3m	$\delta A_{ph}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	10m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
交叉极化 17)		$\delta A_{cp}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
平衡 18)		$\delta A_{bal}$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
场地修正:							
场地不完善 19)		$\delta SA$	$\pm 4.0$	三角	1.63	1	1.63
距离 20)	3m	$\delta d$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
	10m		$\pm 0.1$	矩形	0.06	1	0.06
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
桌子高度 21)	3m	$\delta h$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	10m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	30m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
因此, $U=2u_c(P)=4.95$ dB取两位有效数字为 5.0 dB (距离 3m), 							

**表 A5 30MHz~200MHz 垂直极化辐射骚扰测量的不确定度评定**  
(采用双锥天线; 在 3m, 10m, 30m 距离上测量)

输入量		$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$C_i$	$C_i u(x_i)$ (dB)
			$a$ (dB)	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)		$V_r$	$\pm 0.1$	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减: 天线—接收机 2)		$L_c$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
双锥天线系数 12)		$AF$	$\pm 2.0$	$k=2$	1.00	1	1.00
接收机修正:							
正弦波电压 4)		$\delta V_{sw}$	$\pm 1.0$	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)		$\delta V_{pa}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)		$\delta V_{pr}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)		$\delta V_{nf}$	$\pm 0.5$	$k=2$	0.25	1	0.25
失配: 天线—接收机 7)		$\delta M$	$+0.9/-1.0$	U 形	0.67	1	0.67
双锥天线修正							
天线系数频率内插 13)		$\delta AF_f$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
天线系数高度偏差 14)		$\delta AF_h$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
方向性差别 15)	3m	$\delta A_{dir}$	$+1.0/-0.0$	矩形	0.29	1	0.29
	10m		$+1.0/-0.0$	矩形	0.29	1	0.29
	30m		$+0.5/-0.0$	矩形	0.14	1	0.14
相位中心位置 16)	3m	$\delta A_{ph}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	10m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
交叉极化 17)		$\delta A_{cp}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
平衡 18)		$\delta A_{bal}$	$\pm 0.9$	矩形	0.52	1	0.52
场地修正:							
场地不完善 19)		$\delta SA$	$\pm 4.0$	三角	1.63	1	1.63
距离 20)	3m	$\delta d$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
	10m		$\pm 0.1$	矩形	0.06	1	0.06
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
桌子高度 21)	3m	$\delta h$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	10m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	30m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
因此, $U=2u_c(E)=5.06$ dB取两位有效数字为 5.1 dB (距离 3m), =5.04 dB 取两位有效数字为 5.0 dB (距离 10m), =5.02 dB 取两位有效数字为 5.0 dB (距离 30m)							
注:对有编号的不确定度分量的说明见 A5 节							

**表 A6 200MHz~1GHz 水平极化辐射骚扰测量的不确定度评定**  
(采用双锥天线; 在 3m, 10m, 30m 距离上测量)

输入量		$X_i$	$x_i$ 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$C_i$	$C_i u(x_i)$ (dB)
			$a$ (dB)	概率分布 或 $k$			
接收机读数 1)		$V_r$	$\pm 0.1$	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减: 天线—接收机 2)		$L_c$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
双锥天线系数 12)		$AF$	$\pm 2.0$	$k=2$	1.00	1	1.00
接收机修正:							
正弦波电压 4)		$\delta V_{sw}$	$\pm 1.0$	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)		$\delta V_{pa}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)		$\delta V_{pr}$	$\pm 1.5$	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)		$\delta V_{nf}$	$\pm 0.5$	$k=2$	0.25	1	0.25
失配: 天线—接收机 7)		$\delta M$	$+0.9/$ $-1.0$	U 形	0.67	1	0.67
对数周期天线修正							
天线系数频率内插 13)		$\delta A F_f$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
天线系数高度偏差 14)		$\delta A F_h$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
方向性差别 15)	3m	$\delta A_{dir}$	$+1.0/-0.0$	矩形	0.29	1	0.29
	10m		$+1.0/-0.0$	矩形	0.29	1	0.29
	30m		$+0.5/-0.0$	矩形	0.14	1	0.14
相位中心位置 16)	3m	$\delta A_{ph}$	$\pm 1.0$	矩形	0.58	1	0.58
	10m		$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
	30m		$\pm 0.1$	矩形	0.06	1	0.06
交叉极化 17)		$\delta A_{cp}$	$\pm 0.9$	矩形	0.52	1	0.52
平衡 18)		$\delta A_{bal}$	$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
场地修正:							
场地不完善 19)		$\delta SA$	$\pm 4.0$	三角	1.63	1	1.63
距离 20)	3m	$\delta d$	$\pm 0.3$	矩形	0.17	1	0.17
	10m		$\pm 0.1$	矩形	0.06	1	0.06
	30m		$\pm 0.0$		0.00	1	0.00
桌子高度 21)	3m	$\delta h$	$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	10m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05
	30m		$\pm 0.1$	$k=2$	0.05	1	0.05

因此， $U=2u_c(E)=5.19$  dB取两位有效数字为 5.2dB（距离 3m），  
          =5.06 dB 取两位有效数字为 5.1 dB（距离 10m），  
          =5.02 dB 取两位有效数字为 5.0 dB（距离 30m）

注:对有编号的不确定度分量的说明见 A5 节

**表 A7 200MHz~1GHz 垂直极化辐射骚扰测量的不确定度评定**  
(采用对数周期天线; 在 3m, 10m, 30m 距离上测量)

输入量		$X_i$	x <sub>i</sub> 的不确定度		$u(x_i)$ (dB)	$C_i$	$C_i u(x_i)$ (dB)
			a (dB)	概率分布 或 k			
接收机读数 1)		$V_r$	±0.1	$k=1$	0.10	1	0.10
衰减: 天线—接收机 2)		$L_c$	±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
双锥天线系数 12)		$AF$	±2.0	$k=2$	1.00	1	1.00
接收机修正:							
正弦波电压 4)		$\delta V_{sw}$	±1.0	$k=2$	0.50	1	0.50
脉冲幅度响应 5)		$\delta V_{pa}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
脉冲重复频率响应 5)		$\delta V_{pr}$	±1.5	矩形	0.87	1	0.87
噪声本底接近度 6)		$\delta V_{nf}$	±0.5	$k=2$	0.25	1	0.25
失配: 天线—接收机 7)		$\delta M$	+0.9/ -1.0	U 形	0.67	1	0.67
对数周期天线修正							
天线系数频率内插 13)		$\delta AF_f$	±0.3	矩形	0.17	1	0.17
天线系数高度偏差 14)		$\delta AF_h$	±0.1	矩形	0.06	1	0.06
方向性差别 15)	3m	$\delta A_{dir}$	+1.0/-0.0	矩形	0.29	1	0.29
	10m		+1.0/-0.0	矩形	0.29	1	0.29
	30m		+0.5/-0.0	矩形	0.14	1	0.14
相位中心位置 16)	3m	$\delta A_{ph}$	±1.0	矩形	0.58	1	0.58
	10m		±0.3	矩形	0.17	1	0.17
	30m		±0.1	矩形	0.06	1	0.06
交叉极化 17)		$\delta A_{cp}$	±0.9	矩形	0.52	1	0.52
平衡 18)		$\delta A_{bal}$	±0.0		0.00	1	0.00
场地修正:							
场地不完善 19)		$\delta SA$	±4.0	三角	1.63	1	1.63
距离 20)	3m	$\delta d$	±0.3	矩形	0.17	1	0.17
	10m		±0.1	矩形	0.06	1	0.06
	30m		±0.0		0.00	1	0.00
桌子高度 21)	3m	$\delta h$	±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
	10m		±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
	30m		±0.1	$k=2$	0.05	1	0.05
因此, $U=2u_c(E)=5.18$ dB取两位有效数字为 5.2dB (距离 3m), =5.05 dB 取两位有效数字为 5.1 dB (距离 10m), =5.01 dB 取两位有效数字为 5.0 dB (距离 30m)							
注:对有编号的不确定度分量的说明见第 A5 节							

## A5 关于输入量估计值的说明

以上表格中每个输入量估计值 $x_i$ 的不确定度是表格中所注明的覆盖频率范围内的最大不确定度，它大致与CISPR16-1中测量装置的技术指标一致。本节说明中的序号与前面表格中输入量的编号相一致。给出的扩展不确定度提供了表1中的 $U_{\text{cispr}}$ 值。

标准不确定度 $u(x_i)$ 可以由与 $x_i$ 相关联的扩展不确定度除以一个因子得到，该因子取决于不确定度的概率分布及与该值相关联的置信水平。对于U形分布、矩形分布或三角分布，这里 $X_i$ 的估计值是处于 $(x_i - a_-)$ 和 $(x_i + a_+)$ 之间，并具有100%的置信水平， $u(x_i)$ 分别取为 $a/\sqrt{2}$ 、 $a/\sqrt{3}$ 、 $a/\sqrt{6}$ ， $a = (a_+ + a_-)/2$ ，是概率分布的半宽度。对于正态分布，如果 $x_i$ 的不确定度具有95%的置信水平，则除数为2（其值是两倍实验标准偏差）；如果 $x_i$ 的不确定度具有68%的置信水平，则除数为1（其值是实验标准偏差）。

修正是对系统误差的补偿，修正值可以从校准报告或计算得出。如果修正值未知，但可认为取正值或负值的可能性大致相同，则修正值取0。假定已根据数学模型进行了修正，则每项修正值应有其对应的不确定度。

得出以上表格中估计值的某些假设，可能对某个特定的检测实验室不一定适用。当一个检测实验室评定其测量的扩展不确定度 $U_{\text{LAB}}$ 时，必须考虑其特定的测量系统所提供的信息，包括设备特性、校准数据的质量和传递、大致的概率分布和测量程序等。有时，检测实验室会发现，最好在频率范围的若干频段上分别评定其不确定度，尤其是当某一项占主导地位的不确定度分量在整个频率范围内变化很大时更是如此。

以下各项说明后的注释，旨在对检测实验室提供一定的指导，以便处理其与本指南中假设的数据和情况有差别的实际情况。

1) **接收机读数的变化：**包括测量系统不稳定、接收机噪声以及表头刻度内插误差等因素引起。 $V_i$ 的估计值是很多读数的平均值，其标准不确定度为平均值的实验标准偏差（ $k=1$ ）。

2) **接收机与人工电源网络、吸收钳或天线之间的连接网络的衰减量 $L_c$ 的估计值，**可以由校准报告获得，同时得到与其相对应的扩展不确定度和包含因子。

注：如果对电缆或衰减器，其衰减量 $L_c$ 的估计值是由制造厂的数据获得的，则可

以设定其可能值的半宽度等于制造厂对衰减规定的允许误差限的绝对值,并设为矩形分布。如果连接网络是电缆与衰减器串接而成,而且两者均有制造厂数据,则 $L_c$ 有两个分量,每个分量均有其自己的概率分布。

3) 人工电源网络电压分压比的估计值 $L_{amn}$ 可由校准报告获得,报告同时给出其扩展不确定度和包含因子。

4) 对接收机正弦波电压准确度的修正值 $\delta V_{sw}$ 的估计值可由校准报告获得,报告同时给出其扩展不确定度和包含因子。

注:如果校准报告只说明接收机正弦波电压准确度是在允许误差限 $\pm 2\text{dB}$ 以内,则修正值 $\delta V_{sw}$ 的估计值应取 0,具有半宽度为 2dB 的矩形概率分布。

5) 接收机的脉冲响应特性的影响,通常,要想对接收机的脉冲响应特性不理想作修正是不现实的。检定证书表明接收机脉冲幅度响应符合 $\pm 1.5\text{dB}$ 的允许误差限是可以做到的。则修正值 $\delta V_{pa}$ 的估计值应为 0,具有半宽度为 1.5dB 的矩形概率分布。

脉冲重复频率响应的允许误差限是随重复频率和检波器类型而变化的。若检定证书表明接收机脉冲重复频率响应符合技术指标规定的允许误差限,则修正值 $\delta V_{pr}$ 的估计值应为 0,具有半宽度为 1.5dB 的矩形概率分布。这里的 1.5dB 值是 CISPR16-1 标准中允许误差限的代表值。

注:如果可以证实脉冲幅度响应或脉冲重复频率响应是在 CISPR 特性的 $\pm \alpha\text{dB}$ 以内( $\alpha \leq 1.5\text{dB}$ ),则对该响应的修正值可以估计为 0,具有半宽度为 $\alpha\text{dB}$ 的矩形概率分布。

如果加到检波器的干扰信号为连续波信号,则不必考虑脉冲响应修正。

6) 接收机的噪声本底的影响,一台 CISPR 接收机的噪声本底往往远低于骚扰电压的允许极限值或骚扰功率的允许极限值,因此噪声本底对接近极限值的测量结果的影响是可以忽略不计的。但对辐射骚扰而言,与接收机噪声本底的接近程度会影响接近辐射骚扰极限值的测量结果。

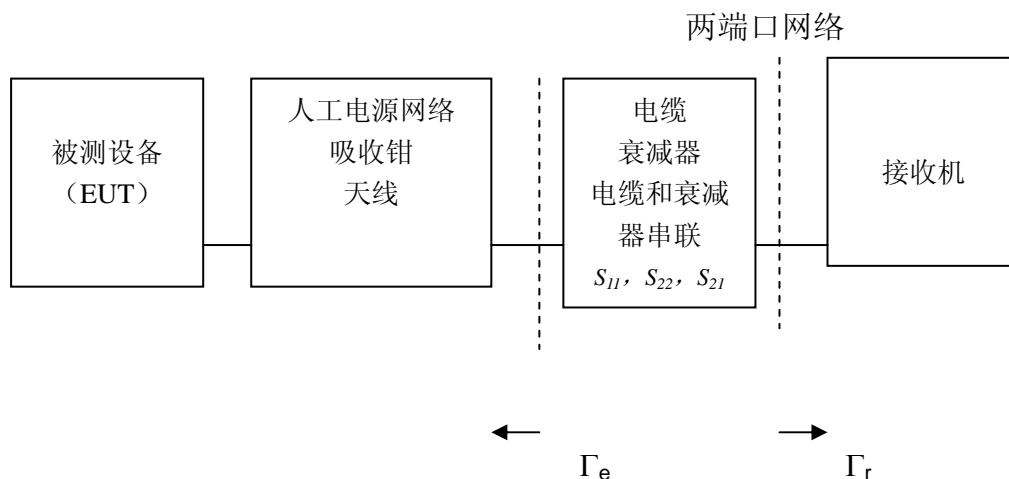
对辐射骚扰,修正值 $\delta V_{nf}$ 的估计值应为 0,并具有半宽度为 0.5dB 的扩展不确定度,包含因子为 2。

7) 失配误差的影响,通常,人工电源网络、吸收钳或天线的接收机端口应连接到一个两端口网络的端口 1 上,其端口 2 则连接到反射系数为 $\Gamma_r$ 的接收机上。

这个两端口网络可以是一根电缆、衰减器、衰减器和电缆的串联，或者是某些部件的其他方式的组合。它可以用 $S$ 参数表征，则失配误差的修正值为：

$$\delta M = 20 \log_{10} [(1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r]$$

其中， $\Gamma_e$ 是由接被测设备的人工电源网络或吸收钳的接收机端口，或作骚扰测量时架设的天线的输出端口看进去的反射系数。所有参数都是针对  $50\Omega$  阻抗的。



当只知道这些参数的模值或模值的极限值时，要计算 $\delta M$ 是不可能的，但是可以确定其不会超出的极限值 $\delta M^\pm$ ：

$$\delta M^\pm = 20 \log_{10} [1 \pm (|\Gamma_e| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{11}| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)]$$

$\delta M$  的概率分布近似为 U 形分布（即反正弦分布），可能值的宽度不大于  $(\delta M^+ - \delta M^-)$ ，其标准不确定度不大于半宽度除以  $\sqrt{2}$ 。

对骚扰电压和骚扰功率的测量， $\Gamma_e$ 是被测设备阻抗的函数，而被测设备的阻抗通常是未知的和不受限制的。

可以假设在最坏情况下的反射系数模值 $|\Gamma_e|=1$ ，还可以假设接到接收机上的是一根良好匹配的电缆（ $|S_{11}| \ll 1$ ， $|S_{22}| \ll 1$ ），其衰减可忽略（ $|S_{21}| \approx 1$ ），而且接收机射频衰减为 10dB 或更大，这时电压驻波比为  $VSWR \leq 1.2:1$ ，相当于 $|\Gamma_r| \leq 0.09$ 。

对于辐射骚扰测量，假设天线的  $VSWR \leq 2.0:1$ ，即 $|\Gamma_e| \leq 0.33$ ，假设接到接收机



上的电缆匹配良好 ( $|S_{11}| \ll 1$ ,  $|S_{22}| \ll 1$ ), 其衰减可忽略 ( $|S_{21}| \approx 1$ ), 且接收机射频衰减为 0dB, 则接收机端的  $VSWR \leq 2.0:1$ , 即  $|\Gamma_r| \leq 0.33$ 。

总之, 修正值  $\delta M$  的估计值为 0, 而且具有宽度为  $(\delta M^+ - \delta M^-)$  的 U 形概率分布。

注: 由修正值  $\delta M$  和  $\delta M^+$  的表达式表明, 可以通过在接收机前面增接一个匹配良好的有衰减的两端口网络来减小失配误差, 其代价是降低了测量灵敏度。

对于某些天线的某些频率上,  $VSWR$  可能远大于 2.0:1。

当采用复杂天线时, 必须注意确保从接收机向天线端看的阻抗满足  $VSWR \leq 2.0:1$  的要求。

如果对人工电源网络或吸收钳的电压驻波比测量是在与其固定连接的衰减器的输出端口上进行的, 则被测设备的阻抗对失配误差的影响将随衰减的增大而减小。

8) 人工电源网络的阻抗不理想, 当接收机端接  $50\Omega$  时, 对于  $50\Omega/50\mu H+5\Omega$  或  $50\Omega/50\mu H$  的人工电源网络, 在 CISPR16-1 标准中对阻抗模值的要求是: 实际阻抗模值应在标称阻抗模值的 20% 以内。而标准对阻抗的相位没有加以限制, 致使被测设备在人工电源网络上产生的电压的测量不确定度很大。

假设当接收机端接  $50\Omega$  时, 人工电源网络的 EUT 端口呈现的阻抗落在复阻抗平面上以标称阻抗为中心、以标称阻抗模的 20% 为半径的圆内, 这就界定了一个与阻抗模值相应的阻抗相位的允许误差限。修正值  $\delta Z$  的估计值为 0, 其概率分布需要通过被有限制的人工电源网络的阻抗和无限制的 EUT 阻抗在规定的频率范围内的所有组合的极端条件下界定。由于频率、人工电源网络的阻抗和 EUT 阻抗产生这种极端条件的特定组合机会不多, 所以概率分布假设为三角分布。

9) 吸收钳插入损耗  $L_{ac}$  的估计值可以由校准报告得出, 包括其扩展不确定度和包含因子。

10) 吸收钳电流变换器的隔离不良导致的电源骚扰会影响接收机读数。因此, 为了减小电源骚扰, 可能有必要在靠近交流电源沿电源线处安装铁氧体吸收体或采用人工电源网络以提供一个经滤波的电源。

采用适当的抑制手段可以把电源骚扰和它们对接收机读数的影响降低到可忽略的程度。修正值  $\delta MD$  的估计值为 0, 而且其不确定度也为 0。

注: 如果采用了适当的抑制手段, 仍然不能使电源骚扰对接收机读数的影响

降低到可忽略的程度, 则修正值 $\delta MD$ 的估计值不为 0, 而且应考虑其不确定度。

11) 用吸收钳进行骚扰功率测量对周围的环境条件是很敏感的, 包括自然条件和与房间壁面的靠近程度。为了确定修正值 $\delta E$ , 必须定量估计校准吸收钳时的环境条件和使用吸收钳时的环境条件的差别, 但要做到这一点是有困难的。

修正值 $\delta E$ 的估计值为 0, 其标准偏差由在不同条件下测量同一个有代表性的试件得到的数据导出的。

注: 如果吸收钳校准和使用的环境条件相同, 可不必考虑修正值 $\delta E$ 。

12) 自由空间天线系数  $AF$  的估计值以及扩展不确定度和包含因子都可以从校准报告获得。

13) 内插误差, 当天线系数是通过在各频率点的校准数据之间内插的方法计算得到时, 其不确定度是与天线系数校准点间频率间隔以及天线系数随频率变化的特性有关。画出已校准的天线系数与频率的关系图, 有助于不确定度的评定。

天线系数内插误差修正值 $\delta AF$ 的估计值为 0, 并具有一个半宽度为 0.3dB 的矩形概率分布。

注: 对于正好在校准频率点上的天线系数, 不必考虑修正值 $\delta AF$ 。

14) 对于天线系数随高度变化的特性, 复杂天线和偶极子天线是不一样的。在 CISPR16-1 标准中, 偶极子天线被指定为 30MHz~300MHz 的标准天线。

修正值 $\delta AF_h$ 的估计值为 0, 设为矩形概率分布, 其半宽度由双锥天线和对数周期天线的天线系数随高度变化的特性估算得到。

注: 如果偶极子是测试天线, 或测试频率超过 300MHz, 不必考虑修正值 $\delta AF_h$ 。

15) 天线方向性影响, CISPR16-1 标准要求复杂天线在直射波方向和地面反射波方向的响应为最大响应的 1dB 以内。为了满足这一要求, 复杂天线的视轴或许必须向下压, 特别在小于 10m 的间距情况下更是如此。对在垂直平面具有均匀方向性图的情况, 方向性影响的修正值 $\delta A_{dir}$ 为 0, 而对在垂直平面具有非均匀方向性图的情况, 方向性影响的修正值 $\delta A_{dir}$ 在 0dB 和 +1dB 之间。

水平极化的双锥天线在垂直平面上假设具有均匀的方向性图, 则不需要修正。在 3m 和 10m 间距的情况, 认为垂直极化双锥天线和水平极化或垂直极化的对数周期天线都需要高达 +1dB 的修正值 $\delta A_{dir}$ ; 但对于 30m 间距的情况, 修正值

不大于+0.5dB。

修正值 $\delta A_{dir}$ 的估计值为 0,并具有适当宽度的矩形概率分布。

注:为减小不确定度,可以从测量天线的已知方向性图估算出不为 0 的 $\delta A_{dir}$ ,该值是频率和间距的函数。如果采用偶极子天线进行测量,由于CISPR16-1 标准对直射波和地面反射波的定向响应未提明确要求,可不必考虑修正值 $\delta A_{dir}$ 。

16) 对双锥天线,相位中心位置的修正值 $\delta A_{ph}$ 可以忽略不计。但对于对数周期天线,相位中心位置随频率变化,造成了对所要求的间距的偏离。

对于对数周期天线,修正值 $\delta A_{ph}$ 的估计值为 0,其可能的概率分布为矩形分布,而半宽度可以借助于参考 $\pm 0.35\text{m}$ 的间距误差的影响和假设场强反比于间距进行估算。

注:如果采用偶极子天线进行测量,则修正值 $\delta A_{ph}$ 可以忽略。

17) 双锥天线的交叉极化响应是可以忽略的。对于对数周期天线,交叉极化响应修正值 $\delta A_{cp}$ 的估计值为 0,可能的半宽度为 0.9dB(相应于CISPR16-1 标准中交叉极化响应-20dB时),并具有矩形的概率分布。

注:如果采用偶极子天线进行测量,则修正值 $\delta A_{cp}$ 可以忽略。

18) 天线不平衡的影响,当输入同轴电缆被拉直并平行于天线振子时,不平衡天线的影响最大。对天线不平衡的修正值 $\delta A_{bal}$ 的估计值为 0,其可能的半宽度是由商用天线的性能估算得出的,并具有矩形的概率分布。

19) 一方面场地衰减的理论值和场地衰减的测试值之间的最大差别 $D_{max}$ ,另一方面由场地衰减测量不确定度增加的场地衰减测得值,提供了由于场地不理想对骚扰测量可能造成的影响的信息。对于这个差别,CISPR16-1 标准给出的允许误差限为 $\pm 4\text{dB}$ ,然而,场地衰减测量方法的测量不确定度通常是很大的,而且两个天线系数的不确定度起主导地位。因此,一个满足 4dB 允许误差限的场地,其场地不完善对骚扰测量引起的误差大致达 4dB。基于上述分析,对修正值 $\delta SA$ 可以假设为三角分布,而且具有半宽度为 4dB。今后如果改进场地测量方法,CISPR16-1 会降低允许误差限指标。

注:如果 $D_{max}$ 小于 4dB,修正值 $\delta SA$ 的估计值可以取为 0,而且具有一个半宽度为 $D_{max}$ 的三角概率分布。

20) 间距误差由 EUT 圆周长的测定、距离的测量和天线桅杆倾斜误差引起。

对间距误差的修正值 $\delta d$ 的估计值为 0, 可由设定一个最大间距允许误差限为 $\pm 0.1\text{m}$  以及在距离界限内场强与间距成反比, 估算出其可能值的半宽度, 概率分布为矩形分布。

21) 如果放置被测设备的桌子高度不是标准高度 0.8m, 也会造成误差。修正值 $\delta h$ 是在最大测试场强时修正桌子高度, 桌子高度偏离额定值 $\pm 0.01\text{m}$  以内时, 修正值 $\delta h$ 的估计值为 0, 服从正态分布, 置信水平为 95%的扩展不确定度为 0.1dB。

## 文献目录

- [1] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, ISO, 1993, ISBN 92-67-01075-1
- [2] ISO/IEC GUIDE EXPRESS: 1995, Guide to the Expression OF Uncertainty in Measurement.
- [3] TAYLOR,BN. and KUYATT,CE. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standard and Technology, September 1994,NIST Technical Note 1297.
- [4] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. European Cooperation for Accreditation of Laboratories, EAL-R2, April 1997; and Supplement 1 to EAL-R2, EAL-R2-S1, November 1997.
- [5] CISPR 16-1:1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus.
- [6] CISPR 16-2:1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2: Method of measurement of disturbances and immunity.
- [7] CISPR 16-3:1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 3: Report and recommendations of CISPR.
- [8] CISPR 16-4:1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part4:Uncertainty in EMC measurements.

## 抗扰度测量中不确定度评定的指南

### 1 概述

本节是依据英国认可组织 United Kingdom Accreditation Service 的文件 (UKAS Publication ref: LAB 34, Draft Edition 3 ;January, 2002) 《EMC 测试中不确定度的表示》中附录 A “典型的不确定度预评估举例” 中 A6~A12 的内容编写而成。为 EMC 测试中电磁抗扰度测量时的不确定度评定提供指南。当测试中的各项影响因素对测量结果或对符合性判断有影响时, 可以参考本指南。

本节提供的为确定各测量不确定度分量而使用的有关数据, 不是用户指南, 不希望用户在进行不确定度评定时照搬照抄。

### 2 静电放电 (ESD)

对于静电放电测量的不确定度评定与表示, 可以应用 ISO/IEC 17025: 1999 的 5.4.6.2 条款注 2 的说明, 即“当公认的测试方法规定了测量不确定度主要来源及其量值范围, 同时又规定了计算结果的表示方式的情况下, 实验室只要遵循这个测试方法和表示形式的要求去做, 就可认为已满足本条款的要求”。因此, 如果实验室能表明 ESD 发生器满足相关标准 (即 EN61000-4-2: 1995 的条款 6) 的要求, 检测报告符合相关标准 (即 EN61000-4-2: 1995 的条款 9 以及 ISO/IEC 17025: 1999 的条款 5.10), 则认为该实验室 ESD 测量已符合关于测量不确定度方面的要求。

为了说明这种方法的合理性, 下面以 EN61000-4-2: 1995 中的负放电电流、负电压和负上升时间为例列出了具体数据。

## 负的放电电流 (2kV)

由标准得到				由校准证书得到					
2kV	第一峰 值电流	30ns 时刻电 流	60ns 时刻电 流	第一峰 值电流 测量值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	30ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	60ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 -5%
标称值	7.5	4	2	7.69	8.07	4.54	4.77	1.92	1.82
最小值	6.75	2.8	1.4		6.75		2.8		1.4
最大值	8.25	5.2	2.6		8.25		5.2		2.6
允许 误差限	±10%	±30%	±30%						

## 负的放电电流 (4kV)

由标准得到				由校准证书得到					
4kV	第一峰 值电流	30ns 时刻电 流	60ns 时刻电 流	第一峰 值电流 测量值	考虑不 确定度 后最坏 情况 -5%	30ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	60ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%
标称值	15	8	4	15.1	14.35	8.95	9.40	4.17	4.38
最小值	13.5	5.6	2.8		13.5		5.6		2.8
最大值	16.5	10.4	5.2		16.5		10.4		5.2
允许 误差限	±10%	±30%	±30%						

## 负的放电电流 (6kV)

由标准得到				由校准证书得到					
6kV	第一峰 值电流	30ns 时刻电 流	60ns 时刻电 流	第一峰 值电流 测量值	考虑不 确定度 后最坏 情况 -5%	30ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	60ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%
标称值	22.5	12	6	22.1	21.00	13.6	14.28	6.59	6.92
最小值	20.25	8.4	4.2		20.25		8.4		4.2
最大值	24.75	15.6	7.8		24.75		15.6		7.8
允许 误差限	±10%	±30%	±30%						

负的放电电流（8kV）

标准给出的				校准报告给出的					
8kV	第一峰 值电流	30ns 时刻电 流	60ns 时刻电 流	第一峰 值电流 测量值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	30ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%	60ns 时刻电 流测量 值	考虑不 确定度 后最坏 情况 +5%
标称值	30	16	8	30.2	31.71	18.6	19.53	8.83	9.27
最小值	27	11.2	5.6		27		11.2		5.6
最大值	33	20.8	10.4		33		20.8		10.4
允许 误差限	±10%	±30%	±30%						

负的放电电压

标准规定的范围				测量值					
电 压 值	允许 误差 限	最大 值	最小 值	INA426 型 ESD 发生器 测量值	最大值 + 1.5%	最小值 −1.5%	INA424 型 ESD 发生器 测量值	最大值 +1.5%	最小值 −1.5%
kV	%	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
2	±10%	2.20	1.80	2.01	2.04	1.98	1.99	2.02	1.96
4	±10%	4.40	3.60	4.00	4.05	3.95	3.94	3.99	3.89
6	±10%	6.60	5.40	5.94	6.01	5.87	5.85	5.92	5.78
8	±10%	8.80	7.20	8.05	8.14	7.96	7.94	8.03	7.85
15	±10%	16.50	13.50	14.98	15.14	14.82	14.82	14.98	14.66

负的上升时间

标准规定的范围		测量值			
T 最大值	T 最小值	电压值	上升时间 测量值(ns)	考虑不确定 度后最大值 (ns)+6%	考虑不确定 度后最小值 (ns)−6%
1ns	0.7ns	2 kV	0.72	0.763	0.677※
		4 kV	0.741	0.785	0.697※
		6 kV	0.751	0.796	0.706
		8 kV	0.758	0.803	0.713

※ 表明可能超出标准规定的允许范围。



校准证书给出的数据与标准允许误差的比较还应在正放电电流、正放电电压和正的上升时间上进行。

EN61000-4-2 标准中规定的允许误差限，因校准证书所报告的测量不确定度而缩小。如果所有的测量值都落在已经缩小了的允许误差限内，则实验室就可以认为其 ESD 发生器以 95% 的置信水平符合标准的要求。正如上面给出的实例，如果比较结果表明，ESD 发生器的测量值落在由校准证书所报告的测量不确定度缩小了的允许范围之外，则实验室必须对该 ESD 发生器进行调整以确保其符合要求，或者降低置信水平。由于校准实验室存在一定大小的测量不确定度，因此有时可能不能证明 ESD 发生器是否符合标准要求。

以下是在检测报告中用于描述上述过程的用语的举例：

“经检测证明，ESD 发生器以不小于 95% 的置信水平满足标准规定的要求。”

3 辐射抗扰度

以下的测量不确定度预测是在假设由校准证明场地均匀性 6dB 已经达到的基础上进行的。一旦计算出了扩展不确定度，则此值关系到标准规定的电平（如：3V/m）在考虑了检测所用数学模型中的各项不确定度后需提高的测试电平。

设测量过程的数学模型为：

$$FS=FS_M+FS_{AW}+P_D+P_{AH}+F_D+R_S+R_{EUT}$$

符号	量	单位	说明
$FS$	场强	dBV/m	这是测量结果（测得值）。
$FS_M$	场强监视器读数值	dBV/m	由电场探头的校准证书获得。
$FS_{AW}$	可接受的场强窗口	dB	通常是设定参数，即允许软件接受的、在校准电平可接受窗口内的场强值。
$P_D$	正向功率测量漂移	dB	是与用于监视正向功率的功率计或其他器件有关的函数。
$P_{AH}$	功率放大器谐波	dB	功率计读数中由放大器失真对不确定度的贡献。
$F_D$	场扰动的影响	dB	由桌子或其他支撑结构可能引入的影响。
$R_S$	测量系统重复性	dB	测量系统重复性是由对一个稳定的被测件的一系列重复测量读数的标准偏差确定。
$R_{EUT}$	被测件（EUT）重复性	dB	只有当测量结果接近允许极限时才需要考虑，因为此时，EUT 的变化可能影响到合格判定

预先已校准场强电平时不确定度的评定

符号	不确定度来源	半宽度值 <i>a</i>	概率分布	<i>k</i>	<i>c<sub>i</sub></i>	<i>u<sub>i</sub></i> ( <i>y</i> )	<i>u<sup>2</sup><sub>i</sub></i> ( <i>y</i> )	<i>v<sub>i</sub></i> 或 <i>v<sub>eff</sub></i>
<i>FS<sub>M</sub></i>	场强监视	1.20	正态	2.00 0	1	0.60	0.360	∞
<i>FS<sub>AW</sub></i>	场强可接受窗口	0.50	矩形	1.73 2	1	0.29	0.083	∞
<i>P<sub>D</sub></i>	正向功率测量漂移	0.20	矩形	1.73 2	1	0.12	0.013	∞
<i>P<sub>AH</sub></i>	功率放大器谐波	0.35	矩形	1.73 2	1	0.20	0.041	∞
<i>F<sub>D</sub></i>	场扰动影响	0.35	矩形	1.73 2	1	0.20	0.041	9
<i>R<sub>S</sub></i>	测量系统重复性	0.50	正态	1.00 0	1	0.50	0.250	
<i>R<sub>EUT</sub></i>	EUT 重复性	0.00	正态	1.00 0	1	0.00	0.000	
<i>u<sub>c</sub></i> ( <i>FS</i> )	合成标准不确定度		正态			0.89dB	0.788	89
<i>U</i> ( <i>FS</i> )	扩展不确定度		正态	<i>k</i> =2 <i>U</i> ( <i>FS</i> ) =1.78dB				<i>v<sub>eff</sub></i> = 89

规定的电平	考虑了 <i>U</i> ( <i>FS</i> ) 后的测试电平
1 V/m	1.23 V/m
3 V/m	3.68 V/m
10 V/m	12.27 V/m

注释：由表中可知：由不确定度评定得到*U* (*FS*) =1.78dB，相当于相对扩展不确定度为*U<sub>r</sub>* (*FS*) =23%。考虑到由于测量不确定度的存在可能场强电平达不到规定的值,因此应提高测试电平，应将测试电平提高*U<sub>r</sub>*倍,例如对规定电平为 3 V/m时，提高到 3 V/m(1+23%)=3.68 V/m。

上述例子也可用于采用动态反馈机理测试（IEC 801-3:1994 测试）时的不确定度评定。

动态反馈场强电平时不确定度的评定

符号	不确定度来源	半宽度值 <i>a</i>	概率分布	<i>k</i>	<i>c<sub>i</sub></i>	<i>u<sub>i</sub></i> (y)	<i>u<sup>2</sup><sub>i</sub></i> (y)	<i>v<sub>i</sub></i> 或 <i>v<sub>eff</sub></i>
<i>FS<sub>M</sub></i>	场强监视	1.20	正态	2.000	1	0.60	0.360	∞
<i>FS<sub>AW</sub></i>	场强可接受窗口	0.50	矩形	1.732	1	0.29	0.083	∞
<i>P<sub>AH</sub></i>	功率放大器谐波	0.35	矩形	1.732	1	0.20	0.041	∞
<i>F<sub>D</sub></i>	场扰动影响	0.35	矩形	1.732	1	0.20	0.041	9
<i>R<sub>S</sub></i>	测量系统重复性	0.50	正态	1.000	1	0.50	0.250	
<i>R<sub>EUT</sub></i>	EUT 重复性	0.00	正态	1.000	1	0.00	0.000	
<i>u<sub>c</sub></i> (FS)	合成标准不确定度		正态			0.88dB	0.775	86
<i>U</i> (FS)	扩展不确定度		正态	<i>k</i> =2 <i>U</i> (FS) =1.76dB				<i>v<sub>eff</sub></i> = 86

规定的电平	考虑了 <i>U</i> (FS) 后的测试电平
1 V/m	1.22 V/m
3 V/m	3.67 V/m
10 V/m	12.25 V/m

应该指出的是，虽然这些不确定度显得比前面已校场的举例中的不确定度小，但由于半电波暗室的不规范和 EUT 反射引起相当大的变化，使方法本身的准确度很低。因此应有一个声明：

“所给出的不确定度不包括由于半电波暗室的不规范引入的影响或由于 EUT 反射使测得的电场强度发生的变化”

这样一个声明有助于阐明这些影响并没有含盖在规定的方法之中。

4 电快速瞬变脉冲群抗扰度

对电快速瞬变脉冲群测量不确定度的预测可参考静电放电（ESD）测试的实例。

5 浪涌抗扰度

对浪涌抗扰度测量不确定度的预测也可参考静电放电（ESD）测试的实例。

6 传导抗扰度

传导抗扰度测量分两种情况：第 A 种情况是已根据 EN 61000-4-6 中的 CDN 法进行测量时采用；第 B 种情况是当根据 EN 61000-4-6 中第 7.3 节要求电流受限制时采用。

设测量过程的数学模型为：

情况A:  $C_{VL}=VR_{MS}+VL_{AW}+P_D+P_{AH}+M_{VC}+M_{AC}+R_S+R_{EUT}$

情况B:  $M_{IC}=S_A+C_C+M_{CC}+M_{CA}+R_S+R_{EUT}$

所用符号的说明见下表：

符号	量	单位	说明
$C_{VL}$	传导感应电压电平	dBV	这是我们试图达到的电平—测量的等效值（测得值）。
$M_{IC}$	最大感应电流	dBmA	电流达到最大时的测量结果，即测得值
$V_{RMS}$	有效值电压表	dB	输出射频电压电平的测量设备的技术指标
$VL_{AW}$	电压电平可接受窗口	dB	通常是设定参数，即允许软件接受的、在校准电平可接受窗口内的感应电压值。
$P_D$	信号发生器漂移	dB	与信号发生器的输出电平及长期重复性有关
$P_{AH}$	功率放大器谐波	dB	功率计或电压表读数中由放大器失真对不确定度的贡献。
$C_C$	电流线圈校准	dB	由电流线圈校准引入的贡献。校准结果用于计算频谱分析仪上随感应电流变化的等效 dB $\mu$ V 读数。
$S_A$	频谱分析仪	dB	频谱分析仪绝对准确度及频率响应的贡献
$M_{VC}$	电压表到耦合去耦网络（CDN）间的失配	dB	由于电压表连接到 CDN 输出端间失配
$M_{AC}$	放大器到耦合去耦网络（CDN）间的失配	dB	由放大器连接到 CDN 输入端间失配
$M_{CC}$	线圈到电缆间的失配	dB	由于线圈（电流探头）连接到电缆间失配
$M_{CA}$	电缆到分析仪间的失配	dB	由于电缆连接到频谱分析仪间失配
$R_S$	测量系统重复性	dB	由对一个稳定的被测件的一系列重复测量读数的标准偏差确定。应包括正常检测中的所有典型变动量
$R_{EUT}$	EUT 的重复性	dB	只有当测量结果接近允许极限时才需要考虑，因为此时 EUT 的变化可能影响到合格判定。

情况 A—预先校准的传导场电平的不确定度评定

符号	不确定度来源	半宽度值 $a$	概率分布	$k$	$c_i$	$u_i(y)$	$u_i^2(y)$	$v_i$ 或 $v_{\text{eff}}$
$V_{\text{RMS}}$	有效值电压表	0.70	矩形	1.73 2	1	0.40	0.163	$\infty$
$V_{\text{LAW}}$	电压电平可接受窗口	0.50	矩形	1.73 2	1	0.29	0.083	$\infty$
$P_D$	信号发生器漂移	0.20	矩形	1.73 2	1	0.12	0.013	$\infty$
$P_{\text{AH}}$	功率放大器谐波	0.70	矩形	1.73 2	1	0.40	0.163	$\infty$
$M_{\text{VC}}$	失配	-0.54	U 形	1.41 4	1	-0.38	0.144	$\infty$
	RMS 电压表 =0.2		-					
	CDN =0.3		-					
$M_{\text{AC}}$	失配	-1.16	U 形	1.41 4	1	-0.82	0.673	$\infty$
	放大器 =0.5		-					
	CDN+6dB 衰减器 =0.3		-					
$R_S$	测量系统重复性	0.50	正态	1.00 0	1	0.50	0.250	9
$R_{\text{EUT}}$	EUT 的重复性	0.00	正态	1.00 0	1	0.00	0.000	
$u_c(V)$	合成标准不确定度		正态			1.22dB	1.490	320
$U(V)$	扩展不确定度		正态	$k=2.00$ $U=2.4\text{dB}$				$v_{\text{eff}}=320$

在该项测试所依据的标准 EN61000-4-6 中, 第 6.4.1 节规定了允许误差限为 $\pm 2\text{dB}$ 或 25%。在下面的举例中, 考虑了不确定度 2.3dB 后测试电平应该提高, 以保证当遵循测试电平规范时, EUT 性能的任何变化都能被识别。

另外, 制造商可以得益于以下观点: 在测试规范中说明的任何测试电平的允许误差限, 只要增加不确定度与允许限的差值部分, 就可能被用户接受, 也就是说, 如下例中, 只要增加 0.3dB, 而不是增加 2.3dB。

情况 B—监视线圈限制已预校准的传导电压电平时不确定度的评定

符号	不确定度来源	半宽度值 $a$	概率分布	$k$	$c_i$	$u_i (y)$	$u_i^2 (y)$	$v_i$ 或 $v_{\text{eff}}$
$S_A$	频谱分析仪	1.50	矩形	1.73 2	1	0.87	0.750	$\infty$
$C_C$	电流线圈校准	1.00	正态	2.00 0	1	0.50	0.250	$\infty$
$M_{CC}$	线圈和电缆间失配	-0.26	U 形	1.41 4	1	-0.19	0.035	$\infty$
	线圈 =0.3							
	电缆 =0.1							
$M_{CA}$	电缆和分析仪间的失配	-0.18	U 形	1.41 4	1	-0.12	0.015	$\infty$
	电缆 =0.1							
	分析仪 =0.2							
$R_S$	测量系统重复性	0.50	正态	1.00 0	1	0.50	0.250	9
$R_{EUT}$	EUT 的重复性	0.00	正态	1.00 0	1	0.00	0.000	
$u_c (V)$	合成标准不确定度		正态			1.14dB	1.300	244
$U (V)$	扩展不确定度		正态	$k=2$ $U=2.3\text{dB}$				$v_{\text{eff}}=244$

一旦计算得到了扩展不确定度，则可对标准规定的电平（如  $3V_{\text{RMS}}$ ），给出一个考虑了不确定度后提高了的测试电平。

标准规定的电压电平 $U_0$	考虑了不确定度后的测试电平
1V	1.31 V
3V	3.94 V
10V	13.14 V

规定电流 ( $U_0/150$ )	应限制的极限电流
6.67mA	8.67 mA
20 mA	26.01 mA
60 mA	78.02 mA

注解：由上表可知：取扩展不确定度为 2.3 和 2.4 的平均值,得 $U=2.35\text{dB}$ ，相当于相对不确定度为 $U_r=31\%$ ,则规定电平为 1 V时测试电平应提高到 1. 31V,即  $1\text{ V}(1+31\%)=1. 31\text{V}$ 。

电流的规定值为规定的电压电平除以  $150\Omega$ 得到，应限制的极限电流应为电流的规定值的 $(1+U_r)$ 倍。只有情况B才限制电流,所以 $U=2.3\text{dB}$ ，相当于 $U_r=30\%$ 。例如规定电流为 6.67mA时，极限电流应增加到： $6.67\text{mA}（1+30\%）=8.67\text{ mA}$ 。

7 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度

测量不确定度的预测也可参考静电放电（ESD）测试的实例。

8 内部校准

要求实验室对所有内部校准的不确定度作出评定，其中插入损耗是一个共同的内部校准项目，现以它为例：

插入损耗测量过程的数学模型为： $I_L=I_E+C_E+SE_M+ED_M+T_R+R_S+R_{EUT}$

符号	量	单位	说明
$I_L$	插入损耗	$\text{dB}\mu\text{V}$	这是测量结果（测得值）。
$I_E$	仪器误差	$\text{dB}$	是由于分析仪的垂直放大器引起的误差，低损耗情况为 $0.1\text{dB}$ ，如果测量高损耗，指标为 $0.1\text{dB}/10\text{ dB}$ 。
$C_E$	由失配引入的校准误差	$\text{dB}$	源和检测探头间的失配。
$SE_M$	源与被测件间失配	$\text{dB}$	源和 EUT 输入端间的失配。
$ED_M$	被测件与探测装置间失配	$\text{dB}$	EUT 输出端和网络分析仪检测端口或接收端口间的失配。
$T_R$	跟踪误差	$\text{dB}$	源和检测探头间通过低损耗 EUT 时的失配。如果损耗大于 $6\text{ dB}$ ，失配与损耗不成对应关系。
$R_S$	测量系统重复性	$\text{dB}$	由对一个稳定的被测件的一系列重复测量读数的实验标准偏差确定，应包括正常检测中的所有典型的变动性。由于这些测量是预先完成的，不要除 $\sqrt{n}$ 。
$R_{EUT}$	被测件的重复性	$\text{dB}$	只有当测量结果接近允许极限时才需要考虑，因为此时，EUT 的变化可能影响到合格判定。  标准不确定度可由实验标准偏差除以 $\sqrt{n}$ 确定。

插入损耗测量时的不确定度预估

符号	不确定度来源		半宽度 $a$	概率 分布	$k$	$c_i$	$u_i(y)$	$u_i^2(y)$	$\nu_i$ 或 $\nu_{\text{eff}}$
$I_E$	仪器 误差		0.1000	矩形	1.732	1	0.06	0.003	$\infty$
$C_E$	失配引起的校 准误差		-0.087 3	U 形	1.414	1	0.06	0.004	$\infty$
	源匹配	0.1		-					
	检测器 匹配	0.1		-					
$SE_M$	源和 EUT 间失 配		-0.087 3	U 形	1.414	1	0.06	0.004	$\infty$
	源匹配	0.1		-					
	EUT 匹 配	0.1		-					
$ED_M$	EUT 和检测器 间的失配		-0.087 3	U 形	1.414	1	0.06		$\infty$
	EUT 匹 配	0.1		-					
	检测器 匹配	0.1		-					
$T_R$	跟踪误差		0.0787	U 形	1.414	1	0.06	0.003	$\infty$
	源匹配	0.1		-					
	正向损 耗系数	0.95		-					
	反向损 耗系数	0.95		-					
	检测器 匹配	0.1		-					
$R_S$	测量系统重复 性		0.0516	正态	1.000	1	0.05	0.003	9
$R_{EUT}$	EUT 的重复性		0.0408	正态	1.000	1	0.04	0.002	3
$u_c(I_L)$	合成标准不确定度			正态			0.15dB	0.022	287
$U(I_L)$	扩展不确定度				$k=2.00$ $U=0.30\text{dB}$				$\nu_{\text{eff}}=287$

在这个例子中, 是假设由电缆或其他被测件组成的测量系统中不使用转接器的。如果使用 N 型转接器, 则需要考虑由转接器的损耗和匹配状况引入的不确定度。一般来说, 在 1GHz 以下频率时, 由于转接器引入的不确定度是很小的; 如果频率超过 1GHz, 则应进一步进行比较严格的分析和评定。



## 附录 B

### 对数或线性量中不确定度的计算

C测试中许多测量的量是对数量，其不确定度用dB表示。测试的技术指标也是以这种方式给出的，例如： $\text{dB}_{\mu\text{V}}$ 。然而，另外一些测量的量是线性量，其不确定度是用相对值表示的，例如n%。当进行不确定度合成时，计算得到的扩展不确定度会因计算中使用对数还是使用线性不确定度而有差异。

线性还是用对数方式进行不确定度计算，取决于概率分布用那一方式表示更好。如果不确定度的主要分量的贡献是用 dB 表示的，则其概率分布也只能按 dB 表示，则各不确定度分量贡献都保留为对数的函数，且合成不确定度的均方根值按对数方式计算就更准确。同样，如果主要不确定度分量的贡献是以线性表示的，则不确定度用线性量的贡献计算更准确。

当用一种简化了的公式计算不确定度时，灵敏系数均为 1。若用相对不确定度，数学模型必须包含各项贡献的乘数或除数，在前面关于内部校准的举例中不确定度预评估就是这样的一个例子。对对数形式的不确定度，简化数学模型必须包含各项贡献的加或减，前面关于辐射抗扰度不确定度预评估举例就是一个这方面的例子。

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>