



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1238—2010

集成电路静电放电敏感度 测试设备校准规范

Calibration Specification for the Testing System for Microcircuits
Electro-static Discharge (ESD) Sensitivity

2010-01-05 发布

2010-04-05 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

集成电路静电放电敏感度 测试设备校准规范

Calibration Specification for the Testing
System for Microcircuits Electro-static
Discharge (ESD) Sensitivity

JJF 1238—2010

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2010 年 1 月 5 日批准，并自 2010 年 4 月 5 日起施行。

归口单位：全国无线电计量技术委员会

起草单位：中国电子技术标准化研究所

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

吴京燕（中国电子技术标准化研究所）

参加起草人：

陈大为（中国电子技术标准化研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目及校准方法	(2)
8 校准结果的表述	(4)
9 复校时间间隔	(4)
附录 A 集成电路静电放电敏感度测试设备校准证书内页格式	(5)
附录 B 集成电路静电放电敏感度测试设备校准不确定度分析	(7)

集成电路静电放电敏感度测试设备校准规范

1 范围

本规范适用于集成电路静电放电敏感度测试设备（人体放电模型 Human Body Model，简称 HBM）的校准。

2 引用文献

GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序（方法 3015）

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语

3.1 衰减时间 decay times

放电电流从 100% 峰值衰减到 36.8% 峰值所需的时间。

3.2 振荡电流 ringing current

放电电流波形中抖动、不连续点电流幅度。

4 概述

集成电路静电放电敏感度测试设备（简称 ESD 设备）主要模拟产生自然界中人体可能带有的静电电压，并将产生的静电电压施加到被测器件上，以考察器件的抗静电能力。其主要结构如图 1 所示：

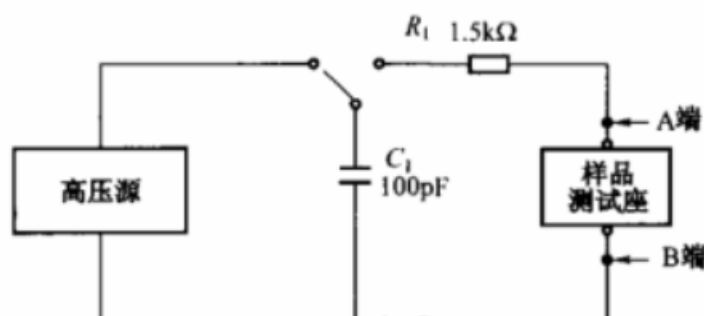


图 1 集成电路静电放电敏感度测试设备结构示意图

5 计量特性

5.1 短路电流参数（人体模型 HBM）

5.1.1 峰值电流 I_p ：±(0.2~6)A 范围：±10%

5.1.2 上升时间 t_r 范围：(2~10)ns

5.1.3 衰减时间 t_d ：150ns 范围：±20ns

5.1.4 振荡电流 I_r ： 范围：<15% I_p

注：被校准设备具体量程以 GJB 548B—2005 方法 3015 为准。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 环境相对湿度：30%~75%。

6.1.3 交流电源电压： $(220 \pm 11)\text{V}$ ； $(50 \pm 1)\text{Hz}$ 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字示波器

最小带宽： $\geq 350\text{MHz}$ ；

上升时间最大允许误差： $\pm 350\text{ps}$ 。

6.2.2 宽带电流探头

带宽： $\geq 1\text{GHz}$ ；

最大允许误差： $\pm 5\%$ 。

6.2.3 20dB 衰减器

带宽： $\geq 1\text{GHz}$ ；

最大允许误差： $\pm 5\%$ 。

7 校准项目及校准方法

设备在进行校准前应按说明书要求预热。并检查校准用测试插座连接性、校准环境静电防护设施的正常性。

7.1 短路电流（人体模型 HBM）参数校准

7.1.1 校准设备连接如图 2 所示。

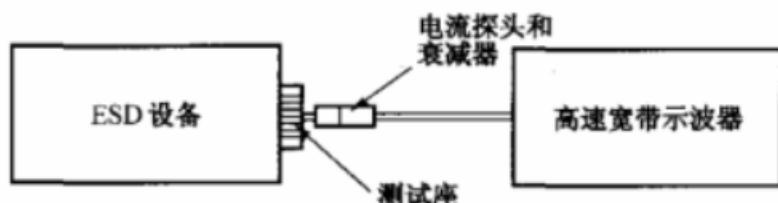


图 2 校准连接框图

7.1.2 选择被校设备测试座上引线最长的通道为被校准通道，将被校准通道（设置为放电通道）与地端（设置为 GND 通道）用短路线相连并接入电流探头，数字示波器通过 20dB 衰减器与电流探头相连。电流探头正端面向放电通道侧。

7.1.3 被校设备设置放电模型为人体模型（HBM），按表 1 的试验等级设置充电电压，通过电流探头和衰减器用示波器测量 ESD 电流波形参数。

7.1.4 调节示波器的垂直刻度和水平刻度，使测量波形位于示波器恰当的位置上。按图 3、图 4 所示，测量短路电流的峰值电流 I_p 、上升时间 t_r 、衰减时间 t_d 、振荡电流 I_r 各参数。

当把示波器的时间测量刻度调节到 5ns/div （每格），以波形下降趋势线的向上延伸与波形上升沿的交互点（图 3 中 A 点）为峰值电流 I_p ；

表 1 ESD 试验等级及对应电参数

等 级	模拟充电电压	I_p 电流峰值	范 围
1	0.5kV	0.33A	±10%
2	1kV	0.67A	±10%
3	2kV	1.33A	±10%
4	4kV	2.67A	±10%
5	8kV	5.33A	±10%

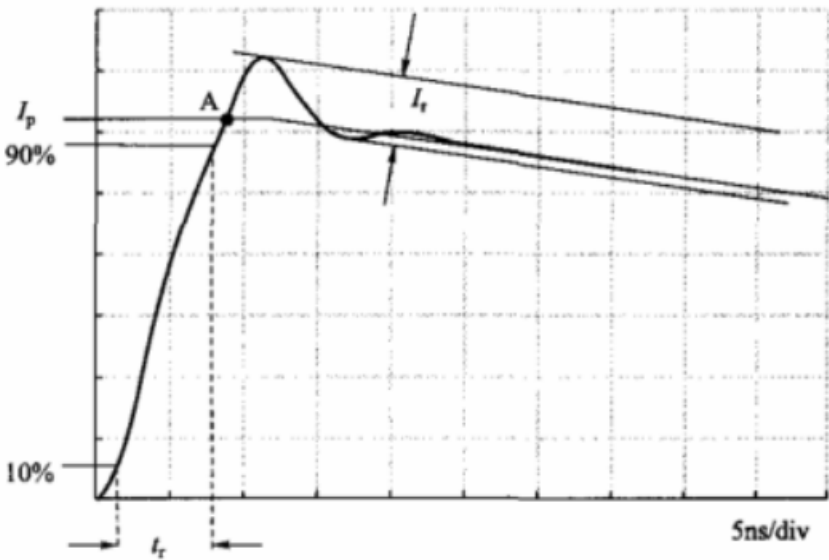


图 3 短路电流的峰值电流 I_p 、上升时间 t_r 、振荡电流 I_r 波形

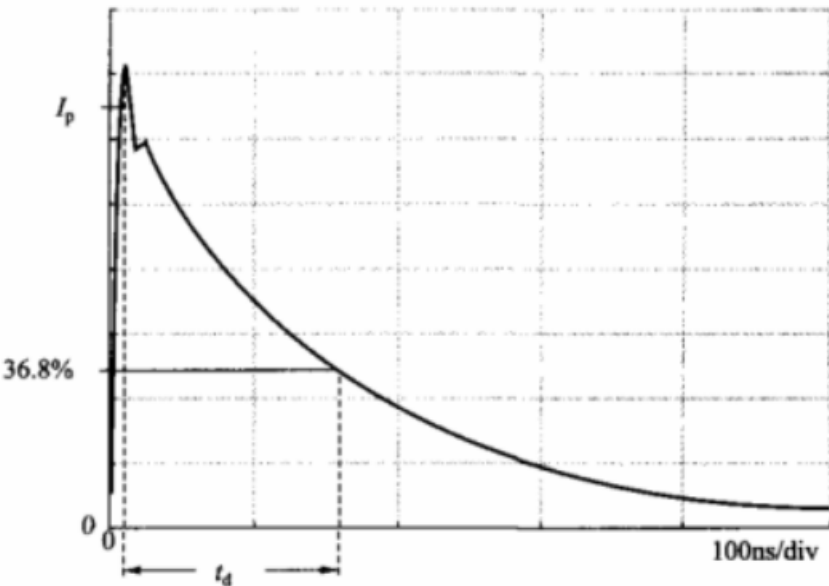


图 4 短路电流的衰减时间波形

上升时间 t_r 为 10%峰值到 90%峰值之间的时间；

衰减时间 t_d 为峰值到 36.8%峰值之间的时间；

振荡电流 I_r 为放电电流波形中抖动、不连续点的电流幅度。一般小于 15%峰值电流 I_p 。

7.1.5 将峰值电流、振荡电流测量结果记录于附录 A 表 1 中，上升时间、衰减时间测量结果记录于附录 A 表 2 中。

7.1.6 对于同一通道上不同放电电压下电流波形参数校准点，重复 7.1.3~7.1.5 的校准步骤。

7.1.7 对于其他的通道，选放电电压 $\pm 1\text{kV}$ 下的电流波形参数为验证点，重复 7.1.3~7.1.5 的校准步骤，校准整个设备所有通道。将峰值电流、振荡电流测量结果记录于附录 A 表 3 中，上升时间、衰减时间测量结果记录于附录 A 表 4 中。

8 校准结果的表述

集成电路静电放电敏感度测试设备的校准结果用校准证书或校准报告表达，证书或报告至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 校准证书或报告的唯一性标识（如编号）、每页和总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 校准的集成电路静电放电敏感测试设备名称、型号和编号；
- g) 进行校准的日期，校准环境（温、湿度等）；当接受日期对校准结果的有效性有影响时还应注明被校对象的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 校准证书或校准报告签发人、校准人、审核人等效标识，以及签发日期；
- l) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- m) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

集成电路静电放电敏感度测试设备的复校时间用户可根据使用情况决定，建议复校时间间隔为 1 年，必要时可随时送校。

附录 A

集成电路静电放电敏感度测试设备校准证书内页格式

工作正常性：正常☐ 不正常☐

一、短路电流波形参数校准

表 1 峰值电流、振荡电流

设置 电压	I_p 峰值电流			I_r 振荡电流		
	标准 测量值	范围	测量不 确定度	标准 测量值	范围	测量不 确定度
0.5kV		0.30A~0.36A			$<15\%I_p$	
-0.5kV		-0.36A~-0.30A			$<15\%I_p$	
1kV		0.60A~0.73A			$<15\%I_p$	
-1kV		-0.73A~-0.60A			$<15\%I_p$	
2kV		1.20A~1.46A			$<15\%I_p$	
-2kV		-1.46A~-1.20A			$<15\%I_p$	
4kV		2.40A~2.94A			$<15\%I_p$	
-4kV		-2.94A~-2.40A			$<15\%I_p$	
8kV		4.80A~5.86A			$<15\%I_p$	
-8kV		-5.86A~-4.80A			$<15\%I_p$	

表 2 上升时间、衰减时间

设置 电压	t_r 上升时间			t_d 衰减时间		
	标准测量值	范围	测量不确定度	标准测量值	范围	测量不确定度
0.5kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
-0.5kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
1kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
-1kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
2kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
-2kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
4kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
-4kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
8kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
-8kV		2ns~10ns			130ns~170ns	

二、各插座通道±1kV 短路电流波形参数校准

表 3 峰值电流、振荡电流

插座 通道号	设置 电压	I_p 峰值电流			I_r 振荡电流		
		标准 测量值	范围	测量不 确定度	标准 测量值	范围	测量不 确定度
1-1	1kV		0.60A~0.73A			$<15\%I_p$	
1-1	-1kV		-0.73A~-0.60A			$<15\%I_p$	
⋮							

表 4 上升时间、衰减时间

插座 通道号	设置 电压	t_r 上升时间			t_d 衰减时间		
		标准测量值	范围	测量不确定度	标准 测量值	范围	测量不 确定度
1-1	1kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
1-1	-1kV		2ns~10ns			130ns~170ns	
⋮							

附录 B

集成电路静电放电敏感度测试设备校准不确定度分析

B.1 校准装置

按照 GJB 548B—2005《微电子器件试验方法和程序》方法 3015 建立的人体放电模型 (Human Body Model, HBM) 短路输出电流波形的校准装置有: 电流探头、50Ω/20dB 同轴固定衰减器、一根 50Ω 同轴电缆以及一台符合校准规范要求的数字示波器组成。校准装置示意图如图 B1 所示。

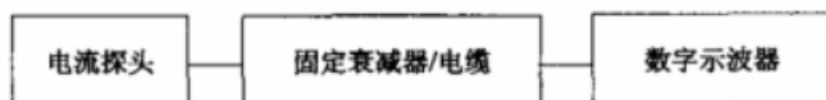


图 B1 ESD 设备短路输出电流波形校准装置示意图

集成电路静电放电敏感度测试设备 (简称 ESD 设备) HBM 模型短路输出电流波形的校准参数有: 电流幅度、上升时间。

B.2 电流幅度参数的测量不确定度分析

B.2.1 建立不确定度评估的数学模型

ESD 设备 HBM 模型的输出短路电流波形如图 B2 所示, 被测量是电流幅度 I_p 以及上升时间 t_n , 以下分析针对放电电压 4kV (试验等级 4), 电流幅度标称值 2.67A ($\pm 10\%$) 为实例进行。

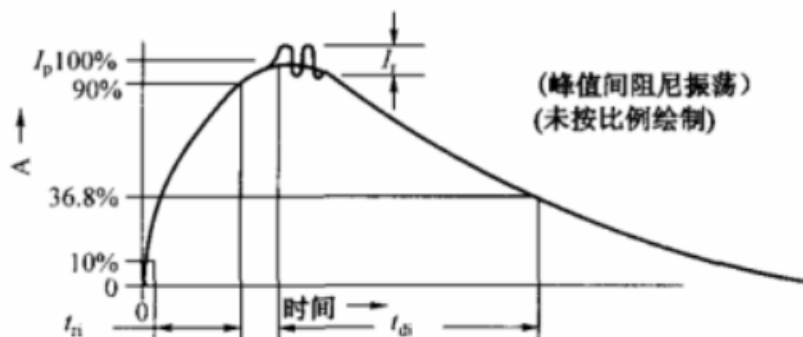


图 B2 ESD 设备 HBM 模型的输出短路电流波形图

图 B3 是 ESD 设备短路电流波形参数校准装置的直流等效电路, 图中 R_L 、 R_A 和 Z_0 分别是电流探头负载电阻、固定衰减器的负载电阻和示波器输入阻抗。

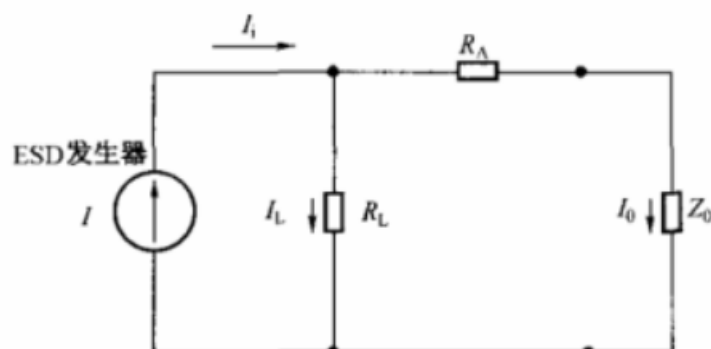


图 B3 校准装置的直流等效电路图

根据电流探头技术指标在 50Ω 终端匹配系统中电流转换因子为 $5\text{mV}/\text{mA}$ 带宽 1GHz ，固定衰减器的标称衰减量是 20dB 带宽 2GHz 。示波器的标称输入阻抗 Z_0 为 50Ω 。

图 B3 中的 I_i 和 I_o 是校准装置的输入和输出电流。电流幅度的数学表达式为：

$$I = \frac{K \cdot V_R}{Z_0} \quad (\text{B1})$$

式中， I 和 V_R 分别是放电电流的幅度和用示波器测得的由输出电流 I_o 产生的电压，在公式 (B1) 中，引入 Z_0 是为把实测的电压转换为相应的电流，根据示波器技术手册示波器输入阻抗指标较为稳定，为简化分析，以下计算 Z_0 为常数等于 50Ω 。电流转换因子 K 用式 (B2) 表示：

$$K = K_{CT} \cdot K_A \quad (\text{B2})$$

式中， K_{CT} 和 K_A 分别是电流探头转换因子和固定衰减器的衰减系数。

假定所有的影响量是不相关的，在电流幅度校准中的合成标准不确定度 u_c 被表示为：

$$u_c(I) = \sqrt{c_{V_R}^2 \cdot u_{V_R}^2 + c_{K_{CT}}^2 \cdot u_{K_{CT}}^2 + c_{K_A}^2 \cdot u_{K_A}^2 + u_{\text{repmes}}^2} \quad (\text{B3})$$

式中：

u_{repmes} —— 重复测量的标准偏差；

u_{V_R} —— 示波器电压读数的不确定度；

$u_{K_{CT}}$ —— 电流探头转换因子测定的不确定度；

u_{K_A} —— 固定衰减器衰减量测量的不确定度。

从式 (B1)、式 (B2) 获得相应变量的灵敏系数如下：

$$c_{V_R} = \frac{\partial I}{\partial V_R} = \frac{K_{CT} \cdot K_A}{Z_0} \quad (\text{B4})$$

$$c_{K_{CT}} = \frac{\partial I}{\partial K_{CT}} = \frac{K_A \cdot V_R}{Z_0} \quad (\text{B5})$$

$$c_{K_A} = \frac{\partial I}{\partial K_A} = \frac{K_{CT} \cdot V_R}{Z_0} \quad (\text{B6})$$

B.2.2 重复测量的标准偏差 u_{repmes}

利用等精度独立测量的方法获取 10 次数据，运用贝塞尔公式计算由重复测量引起的电流幅度标准不确定度

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.05\text{A} \quad (\text{B7})$$

B.2.3 示波器的电压读数不确定度 u_{V_R}

在设定放电电压 4kV 处，根据示波器技术手册示波器的垂直分辨力为 $200\text{mV}/\text{div}$ (每格)，假定概率分布为矩形，示波器电压测量读数产生的不确定度 u_{V_R} 考虑灵敏系数 c_{V_R} 引起的电流幅度的标准不确定度 $c_{V_R} \times u_{V_R} \approx 0.01\text{A}$ 。

B.2.4 电流转换因子测量的不确定度 $u_{K_{CT}}$

根据电流探头的校准数据在设置电压 4kV 时与标准值的偏差为 0.033A, 假定概率分布为矩形, 利用式 (B5) 可以计算出与 $u_{K_{CT}}$ 相关的灵敏系数 $c_{K_{CT}}$; 电流探头电流转换因子测量产生的不确定度 $u_{K_{CT}}$ 考虑灵敏系数 $c_{K_{CT}}$ 引起的电流幅度的标准不确定度 $c_{K_{CT}} \times u_{K_{CT}} = 0.01A$ 。

B.2.5 固定衰减器衰减量测量的不确定度 u_{K_A}

用网络分析仪对固定衰减器的衰减量进行测量, 固定衰减器测量产生的不确定度 u_{K_A} 考虑灵敏系数 c_{K_A} 引起的电流幅度的标准不确定度 $c_{K_A} \times u_{K_A} = 0.005A$ 。

B.2.6 电流幅度测量的合成扩展不确定度和扩展不确定度

将所有分量进行合成按公式 (B3), 得到合成标准不确定度

$$u_c(I) = \sqrt{c_{V_R}^2 \cdot u_{V_R}^2 + c_{K_{CT}}^2 \cdot u_{K_{CT}}^2 + c_{K_A}^2 \cdot u_{K_A}^2 + u_{\text{repmes}}^2} = 0.052A \quad (B8)$$

扩展不确定度为 ($k=2$)

$$U = u_c \times 2 = 0.1A$$

则设置电压 4kV 时电流幅度测量的扩展不确定度为 0.1A

B.3 上升时间参数的测量不确定度分析

B.3.1 不确定度的来源

时间参数测量的不确定度主要由示波器时间测量精度、电流探头上升时间、衰减器上升时间以及 ESD 设备测量重复性引起。

B.3.2 由示波器的时间测量准确度引起的测量不确定度 u_{osc}

示波器时间测量不确定度可以从制造厂的手册获得。使用具有 1GHz 的模拟带宽、5GS/s 的采样速率、30ppm 的时钟精度的数字示波器, 在测量被校准设备的上升时间时使用 0.2ns/div 挡。

$$\begin{aligned} \text{时间测量准确度} &\leq \frac{0.06}{\text{采样速率}} + (\text{时钟精度} \times \text{读数}) (\text{RMS}) \\ &= \frac{0.06}{5 \times 10^9 / \text{s}} + (30 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^{-12} \text{s/div} \times 8 \text{div}) \\ &= 12 \text{ps} \end{aligned} \quad (B9)$$

(HBM) 短路电流波形的上升时间是从峰值幅度 10% 至 90% 时所需时间, 由示波器的时间测量准确度引起的测量不确定度: $u_{\text{osc}} = \frac{12 \text{ps}}{\sqrt{3}} = 6.9 \text{ps}$

B.3.3 重复测量的标准不确定度 u_{repmes}

利用等精度独立测量的方法获取 10 组数据, 运用贝塞尔公式计算由重复测量引起的上升时间标准不确定度:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 126 \text{ps} \quad (B10)$$

B.3.4 由示波器上升时间引起的测量不确定度 $u_{\text{osc rise}}$

1GHz 的模拟带宽、5GS/s 的采样速率的数字示波器上升时间为 $\frac{0.35}{1.0 \times 10^9 \text{Hz}} =$

350ps。概率分布为矩形，其标准不确定度： $u_{\text{osc}} = \frac{350\text{ps}}{\sqrt{3}} = 202\text{ps}$

B.3.5 由电流探头上升时间引起的测量不确定度 $u_{K_{\text{CT}}\text{rise}}$

电流探头的带宽为 1GHz，其标准不确定度： $u_{K_{\text{CT}}\text{rise}} = \frac{350\text{ps}}{\sqrt{3}} = 202\text{ps}$

B.3.6 由衰减器上升时间引起的测量不确定度 $u_{K_{\text{A}}\text{rise}}$

衰减器的带宽为 2GHz，其标准不确定度： $u_{K_{\text{A}}\text{rise}} = \frac{175\text{ps}}{\sqrt{3}} = 101\text{ps}$

B.3.7 上升时间测量的合成扩展不确定度和扩展不确定度

以上各不确定度分量彼此互不相关，则有：

$$u_c = \sqrt{u_{\text{osc}}^2 + u_{\text{repmes}}^2 + u_{\text{oscise}}^2 + u_{K_{\text{CT}}\text{rise}}^2 + u_{K_{\text{A}}\text{rise}}^2} = 328\text{ps} \quad (\text{B11})$$

扩展不确定度为 ($k=2$)

$$U = u_c \times 2 = 656\text{ps}$$

中华人民共和国
国家计量技术规范
集成电路静电放电敏感度测试设备校准规范
JJF 1238—2010
国家质量监督检验检疫总局发布

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话(010)64275360
<http://www.zgjl.com.cn>
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

880 mm×1230 mm 16开本 印张1 字数14千字
2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印数1—1 000
统一书号 155026—2480 定价: 24.00元

www.bzxz.net

免费标准下载网