



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) 0000—2024

特性阻抗测试仪校准规范

Calibration Specification for Characteristic Impedance Testers

(报批稿)

2024-00-00发布

2024-00-00实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

特性阻抗测试仪校准规范
Calibration Specification for Characteristic
Impedance Testers

JJF(电子) 0000—2024

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

张 辉（广电计量检测集团股份有限公司）

李文兴（广电计量检测集团股份有限公司）

王 竹（广电计量检测集团股份有限公司）

张国茂（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

钟 毅（广电计量检测集团股份有限公司）

周坚俊（广电计量检测集团股份有限公司）

王 媛（广电计量检测集团股份有限公司）

目录

引 言.....II

1 范围.....1

2 引用文件.....1

3 术语和计量单位.....1

3.1 特性阻抗.....1

3.2 标准空气线.....1

4 概述.....2

5 计量特性.....2

5.1 特性阻抗.....2

5.2 反射上升时间.....2

5.3 波形平坦度.....2

5.4 输入阻抗.....2

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 校准项目和校准方法.....3

7.1 校准项目.....3

7.2 校准方法.....3

8 校准结果表达.....7

9 复校时间间隔.....8

附录 A 原始记录格式.....9

附录 B 校准证书内页格式.....11

附录 C 测量不确定度评定示例.....13

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

特性阻抗测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于单端阻抗测量范围 $20\Omega\sim150\Omega$ 、差分阻抗测量范围 $40\Omega\sim200\Omega$ 的特性阻抗测试仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1188—2008 无线电计量名词术语及定义

CPCA/Z 5101—2015 印制板特性阻抗时域反射测定指南

IPC-TM-650 2.5.5.7 印制电路板特性阻抗 TDR 测量方法 (Characteristic Impedance of Lines on Printed Boards by TDR)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 特性阻抗 characteristic impedance

传输线上入射波电压与入射波电流之比值，或反射波电压与反射波电流之比的负值，同轴传输线的特性阻抗 Z_0 如式（1）所示：

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_T}} \ln \frac{D}{d} \quad (1)$$

式中：

D ——同轴传输线外导体内直径，mm；

d ——同轴传输线内导体外直径，mm；

ϵ_T ——内、外导体间填充介质的相对介电常数。

[来源：JJF 1188-2008，6.2]

3.2 标准空气线 standard air-line

特性阻抗已知的空气介质同轴传输线。其特性阻抗可由式（1）计算得到。

[来源：JJF 1188-2008，6.11]

4 概述

特性阻抗测试仪（以下简称测试仪）用于印制电路板、传输线等特性阻抗的测试，一般由宽带示波器和阶跃脉冲发生器组成，阶跃脉冲发生器发出一个快沿的阶跃脉冲，同时接收反射信号的时域波形，测试仪根据反射回波的时间判断阻抗变化点距接收端的距离，根据反射信号的幅度判断相应点的阻抗变化。

5 计量特性

5.1 特性阻抗

5.1.1 单端阻抗测量

测量范围：20Ω~150Ω；

最大允许误差： $\pm[1\%+0.25\%(|Z-50\Omega|/25\Omega)]$ （Z 为 25Ω 的整数倍）。

5.1.2 差分阻抗测量

测量范围：40Ω~200Ω；

最大允许误差： $\pm[2\%+0.5\%(|Z-100\Omega|/50\Omega)]$ （Z 为 50Ω 的整数倍）。

5.2 反射上升时间

上升时间：5ps~1ns。

5.3 波形平坦度

平坦度：从前沿开始 1ns 之后，最大允许误差： $\pm 1\%$ 。

5.4 输入阻抗

典型值：50Ω；

最大允许误差： $\pm 2\%$ 。

注：以上范围及指标不适用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

a) 环境温度： $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

b) 环境相对湿度：30%~75%。

c) 供电电源：电压 $(220\pm 11)\text{V}$ ，频率 $(50\pm 1)\text{Hz}$ 。

d) 其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准空气线

特性阻抗：25Ω、50Ω、75Ω、100Ω；

扩展不确定度： $U_{\text{rel}}=0.1\%\sim 0.3\%$ ， $k=2$ 。

6.2.2 短路器

频率范围：DC~67GHz；

反射系数模值： ≤ 1 。

6.2.3 标准负载

频率范围：DC~67GHz；

阻抗：50Ω。

反射系数模值： ≤ 0.1 。

6.2.4 数字多用表（电阻表）

测量范围：40Ω~60Ω；

最大允许误差： $\pm 0.3\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目		校准方法条款
1	特性阻抗	单端阻抗测量	7.2.2
		差分阻抗测量	
2	反射上升时间		7.2.3
3	波形平坦度		7.2.4
4	输入阻抗		7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校测试仪的外观应完好、并采取防静电措施，各开关、按键等调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤，说明书、及配套附件应齐全。被校测试仪按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常。校准前先用50Ω标准空气线确认测试仪的阻抗测量最大允许误差是否在技术手册给出的指标范围内，若超出技术手册给出的最大允许误差，应先按技术手册中的自校准步骤自校准后再进行校准，检查结果记录到表A.1中。

7.2.2 特性阻抗

7.2.2.1 单端阻抗测量

a) 按图 1 连接仪器。

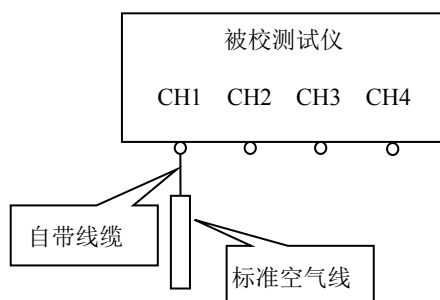


图 1 单端阻抗测量校准连接示意图

b) 将阻抗为 25Ω 标准空气线接至测试仪的自带线缆，设置测试仪为单端测量模式，调节测试仪显示的水平刻度、垂直刻度和阻抗参考值，使标准空气线阻抗波形显示在屏幕中央位置，一般选取标准空气线 30%至 70%位置为阻抗测量范围，读取测量范围内的阻抗平均值，记录到表 A.2 中。

c) 按公式 (2) 计算单端阻抗测量误差，记录到表 A.2 中。

$$\delta_z = \frac{Z_L - Z_0}{Z_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_z ——特性阻抗示值误差；

Z_L ——被校阻抗测试仪示值， Ω ；

Z_0 ——标准空气线阻抗， Ω 。

d) 更换其他阻抗值的标准空气线，重复 b) 到 c)，记录结果到表 A.2 中。

e) 依次改变测量通道，重复 b) 到 d)，记录结果到表 A.2 中。

7.2.2.2 差分阻抗测量

a) 按图 2 连接仪器。

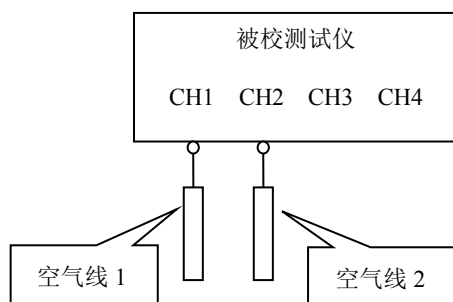


图 2 差分测量模式校准连接示意图

b) 将两条阻抗为 25Ω 的标准空气线分别接至测试仪差分测量通道的自带线缆，设置测试仪为差分测量模式，调节测试仪的水平刻度、垂直刻度和显示阻抗参考值，使差分阻抗波形显示在屏幕中央位置，一般选取标准空气线 30%至 70%位置为阻抗测量范围，读取测量范围内的阻抗平均值，记录到表 A.3 中。

c) 按公式 (2) 计算差分阻抗测量误差，记录到表 A.3 中。

d) 更换其他阻抗值的标准空气线，重复 b) 到 c)，记录结果到表 A.3 中。

e) 依次改变差分测量通道，重复 b) 到 d)，记录结果到表 A.3 中。

7.2.3 反射上升时间

a) 按图 3 连接仪器。

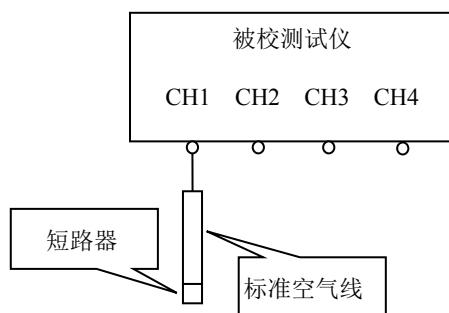


图 3 反射上升时间校准连接示意图

b) 设置测试仪为单端测量模式，将标准空气线连接到测试仪的测量通道，短路器连接至标准空气线的末端。

c) 调节测试仪的水平刻度、垂直刻度和显示阻抗参考值，使阻抗波形末端反射上升沿显示到屏幕中央 80%左右，用自动测量功能或光标测量反射上升沿 10%至 90%的时间，记录到表 A.4 中。

d) 依次改变测量通道，重复 b) 到 c)，记录结果到表 A.4 中。

7.2.4 波形平坦度

a) 按图 4 连接仪器。

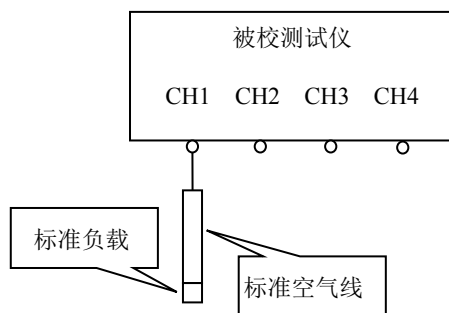


图 4 波形平坦度校准连接示意图

b) 设置测试仪为单端测量模式，将 50Ω 标准负载接到测试仪的测量通道，调节测试仪的水平刻度、垂直刻度和显示阻抗参考值，使 50Ω 标准负载的阻抗波形显示在屏幕中央位置，测量前沿 1ns 之后，标准空气线阻抗波形中除过冲外的最大阻抗值 Z_{\max} 和最小阻抗值 Z_{\min} ，记录到表 A.5 中。

c) 按公式 (3) 计算波形平坦度，记录到表 A.5 中。

$$\delta_F = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{Z_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ_F ——波形平坦度；

Z_{\max} ——最大阻抗值， Ω ；

Z_{\min} ——最小阻抗值， Ω ；

Z_0 ——标准负载阻抗值， Ω 。

d) 依次改变测量通道，重复 b) 到 c)。

7.2.5 输入阻抗

a) 设置数字多用表为电阻测量功能的四线电阻测量模式，用短接线对数字多用表电阻测量进行清零。

b) 按图 5 连接仪器，将 SMA-香蕉头的电缆，一端接至数字多用表的四线测量端，另一端接至被校测试仪的测量端。记录输入阻抗测量结果到表 A.6 中。

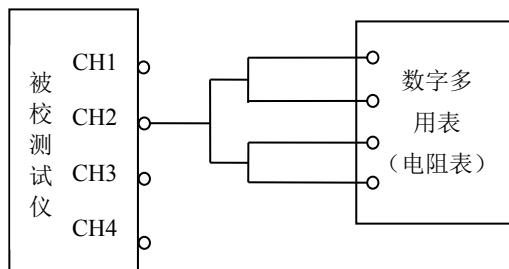


图 5 输入阻抗校准连接示意图

c) 按公式 (4) 计算输入阻抗示值误差, 记录到表 A.6 中。

$$\delta_R = \frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

δ_R ——输入阻抗示值误差;

R_x ——输入阻抗标称值, Ω ;

R_0 ——输入阻抗标准值, Ω 。

d) 依次改变测量通道, 重复 b) 到 c)。

8 校准结果表达

测试仪校准后, 出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- d) 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校准对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;

- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书内页格式见附录 B, 校准不确定度的评定方法见附录 C。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 建议不超过 1 年。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

A.2 单端阻抗测量

表 A.2 单端阻抗

通道	标准值 Ω	示值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH1				
CH2				
....				

A.3 差分阻抗测量

表 A.3 差分阻抗测量

通道	标准值 Ω	示值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH				
....				

A.4 反射上升时间

表 A.4 反射上升时间

通道	上升时间 ns	不确定度 ($k=2$)
CH1		
CH2		
...		

A.5 波形平坦度

表 A.5 波形平坦度

通道	最大值 Ω	最小值 Ω	平坦度	不确定度 ($k=2$)
CH1				
CH2				
...				

A.6 输入阻抗

表 A.6 输入阻抗

通道	实测值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH1			
CH2			
...			

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

B.2 单端阻抗测量

表 B.2 单端阻抗

通道	标准值 Ω	示值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH1				
CH2				
....				

B.3 差分阻抗测量

表 B.3 差分阻抗测量

通道	标准值 Ω	示值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH				
....				

B.4 反射上升时间

表 B.4 反射上升时间

通道	上升时间 ns	不确定度 ($k=2$)
CH1		
CH2		
...		

B.5 波形平坦度

表 B.5 波形平坦度

通道	最大值 Ω	最小值 Ω	平坦度	不确定度 ($k=2$)
CH1				
CH2				
...				

B.6 输入阻抗

表 B.6 输入阻抗

通道	实测值 Ω	示值误差 Ω	不确定度 ($k=2$)
CH1			
CH2			
...			

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 单端阻抗测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

特性阻抗测试仪单端阻抗测量的测量模型如下式 (C.1):

$$Z_L = Z_0 \quad (C.1)$$

式中:

Z_L ——被校测试仪示值, Ω ;

Z_0 ——标准空气线特性阻抗, Ω 。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有: 不确定度来源主要有标准空气线溯源结果的不确定度、示值分辨力和测量重复性引入的不确定度分量等。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 标准空气线引入的不确定度分量 u_1

标准空气线特性阻抗溯源的扩展不确定度为 $U=0.1\Omega$, $k=2$, 则由此引入的不确定度分量 $u_1=0.1\Omega/2=0.05\Omega$ 。

C.1.3.2 示值分辨力引入的不确定度分量 u_2

测试仪测量特性阻抗值为 50Ω 时分辨力为 0.01Ω , 按均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 由分辨率引入的不确定度分量 $u_3=0.005\Omega/\sqrt{3}=0.003\Omega$ 。

C.1.3.3 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

用特性阻抗值为 50Ω 的空气线对测试仪进行重复性测量, 结果如表 C.1 所示:

表 C.1 单端阻抗重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果 (Ω)	50.19	50.17	50.18	50.18	50.18
测量序号	6	7	8	9	10

测量结果 (Ω)	50.16	50.17	50.18	50.17	50.18
平均值 \bar{x} (Ω)	50.176		标准差 s	0.009	

$$\text{测量重复性引入的标准不确定度分量 } u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.009\Omega。$$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差,因此由分辨力引入的不确定度分量 u_2 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者。

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量汇总如表 C.2 所示。

表 C.2 不确定度分量汇总表

不确定度来源	区间半宽(Ω) a_i	置信因子 k_i	不确定度分量 $u_i(\Omega)$
标准空气线不确定度 u_1	0.1	2	0.05
示值分辨力 u_2	0.005	$\sqrt{3}$	0.003
测量重复性 u_A	0.009	1	0.009

C.1.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关,则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_A^2} = 0.06\Omega$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则特性阻抗为 50Ω 时测量结果的扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 0.12\Omega, \quad k=2$$

C.2 反射上升时间测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

测试仪反射上升时间的测量模型如下式 (C.2):

$$T_X = T_0 \quad (\text{C.2})$$

式中:

T_X ——反射上升时间值, ns;

T_0 ——10%峰值和 90%峰值之间的时间间隔值, ns。

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：被校测试仪测量分辨率、测量重复性引入的不确定度分量。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 测试仪测量分辨率引入的不确定度分量 u_1

设读取上升时间幅度的 0%和 100%时因游标测量分辨率相对误差分别为 ε_1 和 ε_2 ，读取幅度的 10%和 90%时因游标测量分辨率相对误差分别为 ε_3 和 ε_4 ，读取幅度的 10%和 90%对应的时间刻度时因游标测量分辨率相对误差分别为 ε_5 和 ε_6 ；假设 6 次的判读误差均相等，即 $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=\varepsilon_4=\varepsilon_5=\varepsilon_6=\varepsilon$ ，设误差为均匀分布，又假定 $\varepsilon=0.5\%$ ，则 $u_{11}=u_{12}=u_{13}=u_{14}=u_{15}=u_{16}=0.5\%/\sqrt{3}=0.289\%$ ，则测量标准读数分辨率引入的不确定度分量 $u_1=\sqrt{u_{11}^2+u_{12}^2+u_{13}^2+u_{14}^2+u_{15}^2+u_{16}^2}=0.707\%$ 。

C.2.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

用短路器对测试仪的反射上升时间进行重复性测量，结果如表 C.3 所示：

表 C.3 反射上升时间重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果（ps）	185	184	183	185	187
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果（ps）	185	184	187	184	186
平均值 \bar{x} （ps）	185.0		标准差 s	1.33	

测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_A=s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=1.33\text{ps}$ ，相对不确定度分量 $u_A=0.72\%$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量汇总如表 C.2 所示。

表 C.2 不确定度分量汇总表

不确定度来源	区间半宽(%) a_i	置信因子 k_i	不确定度分量 $u_i(\%)$
--------	------------------	---------------	---------------------

测试仪测量分辨力 u_1	1.0%	$\sqrt{3}$	0.707
测量重复性 u_A	0.72	1	0.72

C.2.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_A^2} = 1.0\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，反射上升时间测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 2.0\%, \quad k=2$$