



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)0101—2023

空气线（时域反射法）校准规范

Calibration Specification for Air-lines (TDR Method)

（报批稿）

2023-××-××发布

2023-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

空气线（时域反射法） 校准规范

Calibration Specification for Air-lines
(TDR Method)

JJF(电子) 0101—2023

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

电子科技大学

广电计量检测（湖南）有限公司

参加起草单位：广东正业科技股份有限公司

本规范技术条文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）

潘 乔（广电计量检测集团股份有限公司）

曹 勇（电子科技大学）

江贤志（广电计量检测（湖南）有限公司）

参加起草人：

朱镇杰（广电计量检测集团股份有限公司）

梁继燊（广电计量检测集团股份有限公司）

蔡 林（广东正业科技股份有限公司）

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
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其它设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 外观及工作正常性检查	3
7.2 特性阻抗	3
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔	5
附录 A 原始记录格式	6
附录 B 校准证书内页格式	7
附录 C 测量不确定度评定示例	8

引 言

本规范依据 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》编写。

本规范为首次发布。

空气线（时域反射法）校准规范

1 范围

本规范适用于空气线及同轴传输线特性阻抗（时域反射法）的校准，其他形式的传输线可参考使用。

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）

注：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 为：

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

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_r ——内、外导体间填充介质的相对介电常数。

[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。

[JJF 1188-2008, 6.11]

4 概述

空气线是特性阻抗已知的空气介质同轴传输线，特性阻抗是根据空气线的几何形状和介质（空气）的特性，使用已知的同轴传输线特性阻抗方程计算得到。空气线一般做为特性阻抗的标准器件，在印制电路板和线缆行业应用广泛。

空气线结构如下图1所示。

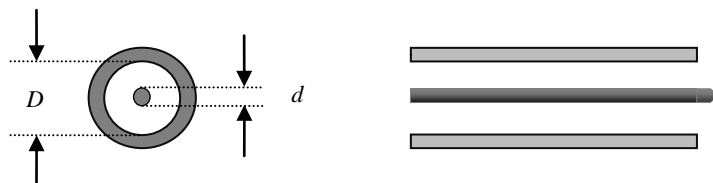


图1 空气线的结构示意图

图中：

D ——空气线外导体内直径；

d ——空气线内导体外直径。

5 计量特性

5.1 特性阻抗

特性阻抗：(10~100) Ω ；

扩展不确定度： $U_{\text{rel}}=0.2\%\sim 1.0\%$ ， $k=2$ 。

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

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 供电电源：电压(220 \pm 11) V，频率(50 \pm 1) Hz。

6.1.4 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 测量标准及其它设备

6.2.1 标准空气线

特性阻抗：25 Ω /28 Ω 、50 Ω 、75 Ω 、100 Ω ；

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

6.2.2 特性阻抗测量仪器

特性阻抗测量：(10~100) Ω ；

最大允许误差： $\pm(1\%\sim 2\%)$ 。

注：特性阻抗测量仪器可选用特性阻抗测量仪、取样示波器或含时域反射（TDR）测量选件的矢量网络分析仪。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

被校空气线外观应完好，无明显机械损伤和变形，检查结果记录于附录A表A.1中。

7.2 特性阻抗

7.2.1 校准前应确保特性阻抗测量仪器接地良好，并做好防静电措施，带好防静电手腕。

7.2.2 设置特性阻抗测量仪器为特性阻抗测量功能，打开“校准”菜单，用校准件对特性阻抗测量仪器进行自校准。

7.2.3 选择特性阻抗值和被校空气线特性阻抗值相同或相近的标准空气线，将标准空气线一端接特性阻抗测量仪器的测量端。

7.2.4 设置特性阻抗测量仪器的水平显示单位、水平刻度和垂直刻度；水平显示设置为时间，水平刻度根据被校空气线的长度，一般设置为 100ps/div~300ps/div；垂直刻度一般设置为 1 Ω /div~10 Ω /div，使测量波形显示在屏幕中央位置，如下图 2 所示。

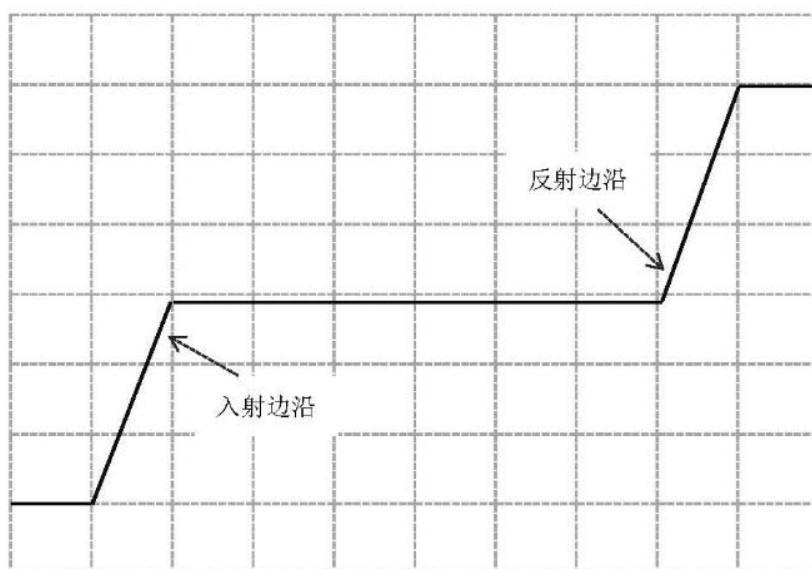


图2 特性阻抗测量波形图

7.2.5 调整特性阻抗测量仪器的水平刻度和测量波形位置，使波形的入射边沿和显示屏的第 1 格对齐，反射边沿和第 10 格对齐，入射边沿和反射边沿之间区域为 100%波

形窗口，如下图 3 所示。

7.2.6 设置特性阻抗测量仪器的光标分别位于第 3 格和第 7 格位置（或根据标准空气线的实际波形选取平坦区域）做为测量区域，标定测量区域的起点 R_1 和终点 R_2 的位置；再设置特性阻抗测量仪器的垂直刻度为 $1\Omega/\text{div}$ ，测量区域如下图 3 所示，记录测量区域的特性阻抗平均值 Z_M 于附录 A 表 A.2 中。

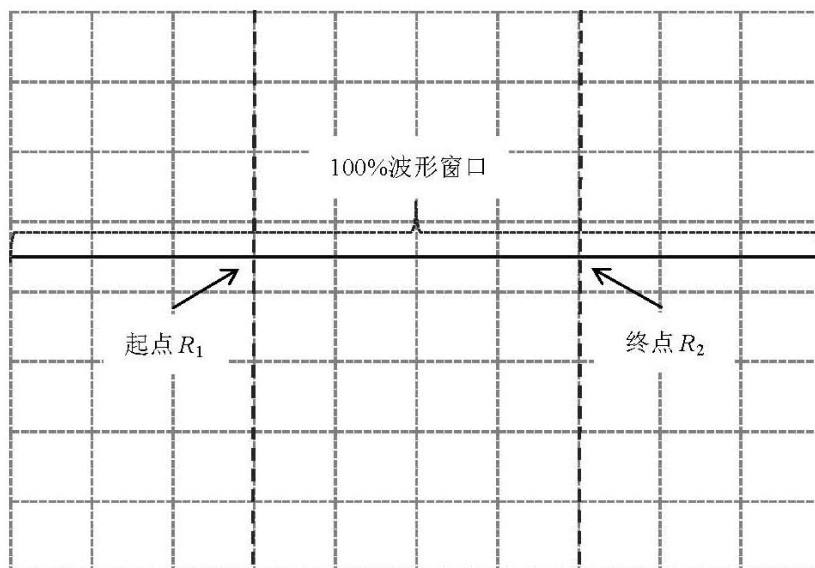


图 3 测量区域示意图

7.2.7 取下标准空气线，连接被校空气线，保持特性阻抗测量仪器设置不变，记录测量区域特性阻抗平均值 Z_U 于附录 A 表 A.2 中，并保存特性阻抗测量的波形图。

7.2.8 用下式 (2) 计算被校空气线特性阻抗的示值误差。

$$\Delta_L = Z_U - Z_M \quad (2)$$

式中：

Δ_L ——被校空气线特性阻抗测量误差， Ω ；

Z_U ——被校空气线特性阻抗测量结果， Ω ；

Z_M ——标准空气线特性阻抗测量结果， Ω 。

7.2.9 用下式 (3) 计算被校空气线的特性阻抗值。

$$Z_L = Z_0 + \Delta_L \quad (3)$$

式中：

Z_L ——被校空气线的特性阻抗， Ω ；

Z_0 ——标准空气线的特性阻抗， Ω ；

Δ_L ——被校空气线特性阻抗测量误差， Ω 。

8 校准结果表达

空气线校准后，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。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

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 特性阻抗

表 A.2 特性阻抗

编号	测量起点 R_1	测量终点 R_2	标准空气线 阻抗 Z_0	标准空气线 阻抗测量值 Z_M	被校空气线 阻抗测量值 Z_U	不确定度 U ($k=2$)

附：测量波形图

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 特性阻抗

表 B.2 特性阻抗

编号	测量起点 R_1	测量终点 R_2	特性阻抗 Z_L Ω	不确定度 U ($k=2$)

附：测量波形图

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 特性阻抗测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

空气线特性阻抗的测量模型为：

$$Z_L = Z_U - Z_M + Z_0 + \delta \quad (C.1)$$

式中：

Z_L ——被校空气线特性阻抗， Ω ；

Z_U ——被校空气线测量结果， Ω ；

Z_M ——标准空气线测量结果， Ω ；

Z_0 ——标准空气线特性阻抗， Ω ；

δ ——特性阻抗测量区域波动， Ω 。

C.1.2 不确定度来源

特性阻抗校准采用偏移量法，在标准空气线和被校空气线特性阻抗相同或相近时，可抵消特性阻抗测量仪器最大允许误差引入的不确定度分量，因此测量结果的不确定度分量来源主要有：标准空气线溯源结果引入的不确定度分量、特性阻抗测量区域波动引入的不确定度分量、特性阻抗测量仪器示值分辨力引入的不确定度分量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

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

C.1.3.2 特性阻抗测量区域波动引入的不确定度分量 u_2

特性阻抗测量区域波动为 0.05 Ω ，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，由此引入的不确定度分量 $u_2=0.05\Omega/\sqrt{3}=0.029\Omega$ ，测量特性阻抗为 50 Ω 时，相对不确定度分量 $u_2=0.058\%$ 。

C.1.3.3 示值分辨力引入的不确定度分量 u_3

特性阻抗测量仪器测量阻抗 50 Ω 时分辨力为 0.01 Ω ，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则由分

辨力引入的不确定度分量 $u_3=0.01\Omega/2\sqrt{3}=0.003\Omega$ ，测量特性阻抗为 50Ω 时，相对不确定度分量 $u_3=0.006\%$ 。

C.1.3.4 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

用特性阻抗测量仪器对 50Ω 的空气线（标称值 49.95Ω ）进行重复性测量，结果如下表所示（ Ω ）：

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	50.19	50.17	50.18	50.18	50.18
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	50.16	50.17	50.18	50.17	50.18
平均值错误！未找到引用源。	50.176		标准差 s	0.009	

测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_A=s=$ 错误！未找到引用源。 $=0.009\Omega$ ，相对不确定度分量 $u_A=0.018\%$ 。

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_3 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

不确定度来源	区间半宽(Ω) a_i	置信因子 k_i	不确定度分量 u_i
标准空气线不确定度 u_1	0.05	2	0.05%
测量区域波动 u_2	0.05	$\sqrt{3}$	0.058%
示值分辨力 u_3	0.005	$\sqrt{3}$	0.006%
测量重复性 u_A	0.009	1	0.018%

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：

$u_c=$ 错误！未找到引用源。 $=0.08\%$ 。

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：

$$U_{\text{rel}}=k u_c=0.16\%, \quad k=2。$$
