

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) 0051—2020

容性电压探头校准规范

Calibration Specification of Capacitive Voltage Probes

2020 - 12 - 09 发布

2020 - 12 - 31 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

容性电压探头校准规范
Calibration Specification of Capacitive
Voltage Probes

JJF (电子) 0051—2020

归口单位:中国电子技术标准化研究院

主要起草单位:广州广电计量检测股份有限公司

参加起草单位:河南广电计量检测有限公司

广电计量检测(湖南)有限公司

南京容向测试设备有限公司

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(广州广电计量检测股份有限公司)

谢锐华(广州广电计量检测股份有限公司)

龙 阳(广州广电计量检测股份有限公司)

参加起草人：

魏 亮(河南广电计量检测有限公司)

薛玉韬(广州广电计量检测股份有限公司)

曾德胜(广电计量检测(湖南)有限公司)

易浦飞(南京容向测试设备有限公司)

目 录

引言	(147)
1 范围	(148)
2 引用文件	(148)
3 术语和计量单位	(148)
3.1 分压系数	(148)
3.2 频率响应	(149)
3.3 屏蔽效能	(149)
4 概述	(149)
5 计量特性	(150)
5.1 分压系数频率响应	(150)
5.2 屏蔽效能	(150)
5.3 脉冲响应	(150)
5.4 电压驻波比	(150)
6 校准条件	(150)
6.1 环境条件	(150)
6.2 测量标准及其它设备	(150)
7 校准项目和校准方法	(151)
7.1 外观及工作正常性检查	(151)
7.2 分压系数频率响应	(151)
7.3 屏蔽效能	(153)
7.4 脉冲响应	(154)
7.5 电压驻波比	(154)
8 校准结果表达	(155)
9 复校时间间隔	(155)
附录 A 原始记录格式	(156)
附录 B 校准证书内页格式	(158)
附录 C 测量不确定度评定示例	(160)

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。



容性电压探头校准规范

1 范围

本规范适用于符合 GB/T 6113.102/CISPR 16-1-2 标准要求的容性电压探头的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 6113.102—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备传导骚扰测量的耦合装置。

CISPR 16-1-2:2017 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备传导骚扰测量的耦合装置 (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Coupling devices for conducted disturbance measurements)。

CISPR 16-1-1:2019 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-1部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备测量设备 (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Measuring apparatus)。

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 电压分压系数 voltage division factor

电缆上的骚扰电压与测量接收机输入电压（容性电压探头输出电压）的比值，简称分压系数，单位：dB。

[GB/T 6113.102—2018, 5.2.2.1 概述]

$$F_{\text{CVP}} = 20 \lg |V/V_m| \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F_{CVP} ——分压系数，dB；

V ——电缆上的骚扰电压，V；

V_m ——容性电压探头输出电压，V。

当电压以对数形式（dB μ V）表示时，分压系数用下式(2)计算。

$$F_{\text{CVP}} = V_{\text{dB}} - V_{\text{m dB}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

F_{CVP} ——分压系数, dB;

V_{dB} ——电缆上的骚扰电压, dB μ V;

$V_{\text{m dB}}$ ——容性电压探头输出电压, dB μ V。

3.2 频率响应 frequency response

在规定频率范围内的电压分压系数, 单位: dB。

[GB/T 6113.102—2018, 5.2.2.3 要求]。

3.3 屏蔽效能 shielding effectiveness (SE)

由于容性电压探头附近的其他电缆发生的静电耦合引起的电场的影响, 当电缆从容性电压探头移开后电压指示值的减小量, 单位: dB。

[GB/T 6113.102—2018, 5.2.2.3 要求]。

3.4 脉冲响应 response to pulses

容性电压探头对测试脉冲的响应与对调谐频率上未调制正弦信号响应的差值, 单位: dB。

4 概述

容性电压探头 (Capacitive Voltage Probe, 简称 CVP) 用于电磁兼容测试中无线电骚扰和抗扰度的测试, 可以在不与源导线直接进行电连接和不调整电路的情况下测量电缆的不对称骚扰电压。

容性电压探头一般由两个同轴电极、接地端、电缆夹具 (容性耦合夹) 和跨阻放大器组成。外电极用于静电屏蔽, 以降低沿着电缆外皮的静电耦合引起的测量误差。当电缆和地之间存在电压时, 在内电极和外电极间将产生一个静电感应电压, 该电压由高输入阻抗放大器检测出, 然后经过跨阻放大器转换成低阻抗, 其输出由测量接收机测量。容性电压探头的结构及测量原理如下图 1 所示。

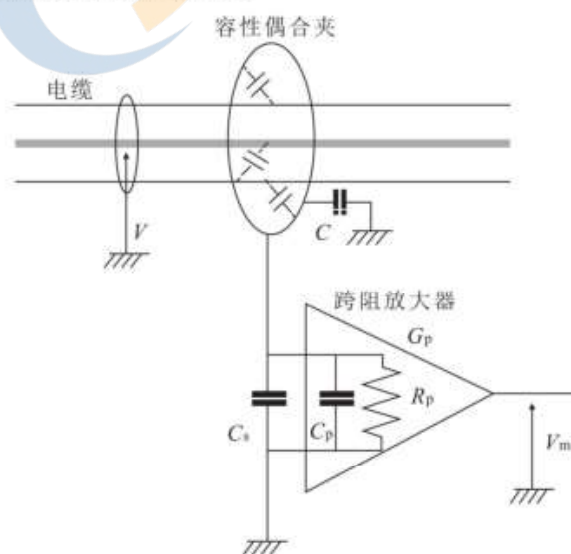


图 1 容性电压探头的结构及测量原理

图中:

- V —— 骚扰电压;
- C —— 电缆和夹子之间的电容;
- C_s —— 探头和地之间的电容;
- C_p —— 跨阻放大器的电容;
- R_p —— 跨阻放大器的电阻;
- G_p —— 跨阻放大器的增益;
- V_m —— 输出端的电压。

5 计量特性

5.1 分压系数频率响应

- 频率范围: 9kHz ~ 100MHz;
- 分压系数: (20 ~ 40) dB;
- 最大允许误差: ± 2 dB。

5.2 屏蔽效能

- 频率范围: 9kHz ~ 100MHz;
- 屏蔽效能: ≥ 20 dB。

5.3 脉冲响应

- 频率范围: 150kHz ~ 30MHz;
- 脉冲重复频率: 1Hz ~ 1kHz;
- 最大允许误差: $\pm (0.5 \sim 2.0)$ dB。

5.4 电压驻波比

- 频率范围: 9kHz ~ 100MHz;
- 电压驻波比: ≤ 1.8 。

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: (10 ~ 30) °C, 校准期间温度波动小于 ± 2 °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 信号发生器

- 频率范围: 9kHz ~ 100MHz;
- 相对频率偏差: $\pm 1 \times 10^{-7}$;

输出电平: $(0 \sim 126) \text{ dB}\mu\text{V}$;

最大允许误差: $\pm 1.0 \text{ dB}$ 。

6.2.2 测量接收机/频谱分析仪

频率范围: $9 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$;

动态范围: $\geq 100 \text{ dB}$;

电平测量最大允许误差: $\pm 0.5 \text{ dB}$ 。

6.2.3 校准夹具

频率范围: $9 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$;

插入损耗: $< 0.3 \text{ dB}$ 。

注: 含标准直径电缆, 标准直径电缆为硬质金属, 直径一般为 8 mm 、 12 mm 或 15 mm , 校准时根据被校容性电压探头给出的技术指标, 选择对应直径的标准电缆进行校准。

6.2.4 同轴衰减器

频率范围: $9 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$;

衰减值: 6 dB 、 10 dB ;

最大允许误差: $\pm 0.5 \text{ dB}$;

电压驻波比: ≤ 1.2 。

6.2.5 50Ω 负载

频率范围: $9 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$;

阻值: 50Ω , 最大允许误差: $\pm 1\%$ 。

6.2.6 网络分析仪

频率范围: $9 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$;

动态范围: $\geq 100 \text{ dB}$;

反射系数模值: ± 0.05 。

6.2.7 脉冲校准源

频率范围: $0.15 \text{ MHz} \sim 30 \text{ MHz}$;

脉冲强度: $0.316 \mu\text{Vs}$;

重复频率: 1 Hz 、 2 Hz 、 10 Hz 、 20 Hz 、 100 Hz 、 1000 Hz 。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

被校容性电压探头外观应完好, 无明显机械损伤和变形; 电极端面平整, 上下咬合整齐, 通电后指示灯指示正常。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2 分压系数频率响应

7.2.1 容性电压探头分压系数频率响应校准时, 电缆中骚扰电压测量如图 2 所示, 校准夹具放置在参考接地平面上, 将标准直径的电缆两端连接到校准夹具的内端口 (内端口 1, 内端口 2)。

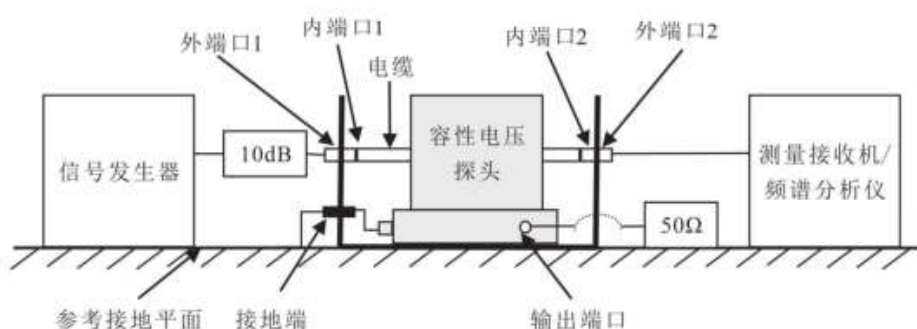


图2 电缆中骚扰电压测量示意图

7.2.2 将被校容性电压探头放到校准夹具里,调整标准直径电缆的高度使其通过容性电压探头的中心,并使容性电压探头到校准夹具端板的距离相等;容性电压探头的接地端口与校准夹具的内接地端口连接。校准夹具的外部接地端与参考接地平面连接,接地线应低电感并尽量远离容性电压探头的口径。

7.2.3 将信号发生器输出通过 10dB 同轴衰减器连接到校准夹具的外端口 1;测量接收机(频谱分析仪)输入端连接到校准夹具的外端口 2;用 50Ω 负载接容性电压探头的输出端口。

7.2.4 设置信号发生器输出频率为 9kHz,输出电平为 100dBμV 左右;测量接收机(频谱分析仪)设置峰值模式,频率与信号发生器频率相同,带宽设置为 200Hz,耦合模式为 DC (频率 10MHz 以下选择 DC 耦合模式)。记录测量接收机的电平示值 V_{dB} 于附录 A 表 A.2 中。

7.2.5 改变信号发生器的频率,设置测量接收机的频率与信号发生器频率相同,在 9kHz 到 150kHz 频率范围内,测量接收机带宽设置为 200Hz;150kHz 到 30MHz 频率范围内,测量接收机带宽设置为 9kHz;30MHz 到 100MHz 频率范围内,测量接收机带宽设置为 120kHz。记录各频点测量接收机的电平示值 V_{dB} 于附录 A 表 A.2 中。

7.2.6 容性电压探头输出电压测量如图 3 所示,将测量接收机接到容性电压探头的输出端口,用 50Ω 负载接校准夹具的外端口 2,其他设置保持不变。

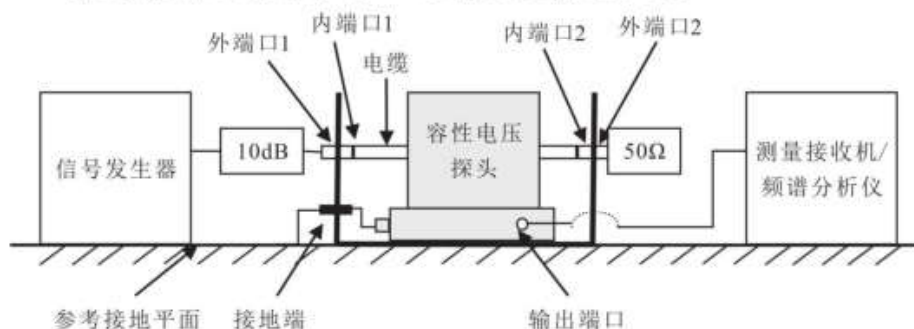


图3 输出电压测量示意图

7.2.7 按容性电压探头的频率范围设置信号发生器和测量接收机的频率值,记录各频点测量接收机电平 $V_{m dB}$ 于附录 A 表 A.2 中。

7.2.8 用式(2)计算分压系数,记录于附录 A 表 A.2 中。

7.2.9 也可用网络分析仪替代上述方法中的信号发生器和测量接收机/频谱分析仪按 7.2.1~7.2.8 方法进行校准。

7.3 屏蔽效能

7.3.1 屏蔽效能校准时,标准电缆中骚扰电压测量如图 4 所示,将容性电压探头放置在电缆的旁边,距离“s”为 1cm。

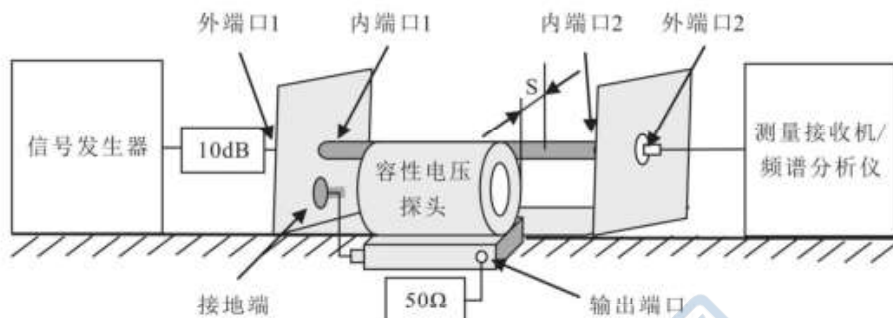


图4 电缆中骚扰电压测量示意图

7.3.2 将被校容性电压探头的接地端口与校准夹具的内接地端口连接。校准夹具的外部接地端与参考接地平面连接。

7.3.3 将信号发生器输出通过 10dB 衰减器连接到校准夹具的外端口 1,设置信号发生器输出为 $100\text{dB}\mu\text{V}$ 。将测量接收机(频谱分析仪)输入端连接到校准夹具的外端口 2,用 50Ω 负载接容性电压探头的输出端口。在容性电压探头的工作频率范围内测量电压 V_s ($\text{dB}\mu\text{V}$),记录于附录 A 表 A.3 中。

7.3.4 容性电压探头输出电压测量如图 5 所示,将测量接收机接到容性电压探头的输出端,用 50Ω 负载接校准夹具的外端口 2。设置信号发生器的输出电平和频率与 7.3.3 相同,在容性电压探头的工作频率范围内测量电压 V_{sm} ($\text{dB}\mu\text{V}$),记录于附录 A 表 A.3 中。

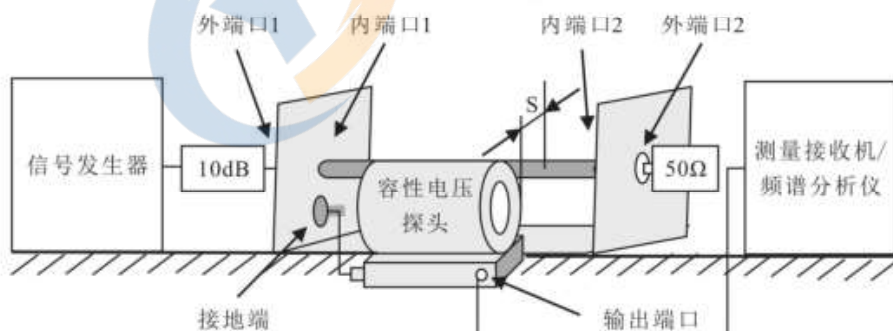


图5 输出电压测量示意图

7.3.5 屏蔽效能 F_s 用下式(3)计算:

$$F_s = (V_s - V_{sm}) - F_{CVP} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

F_s ——屏蔽效能, dB;

V_s ——电缆中骚扰电压, $\text{dB}\mu\text{V}$;

V_{sm} ——容性电压探头输出电压, $\text{dB}\mu\text{V}$;

F_{CVP} ——容性电压探头电压分压系数, dB。

7.3.6 也可用网络分析仪替代上述方法中的信号发生器和测量接收机(频谱分析仪)按 7.3.1~7.3.5 方法进行校准。

7.4 脉冲响应

7.4.1 脉冲响应校准如下图 6 所示,信号发生器输出通过 6dB 衰减器连接到校准夹具的外端口 1,仪器设置同 7.2.2~7.2.4。

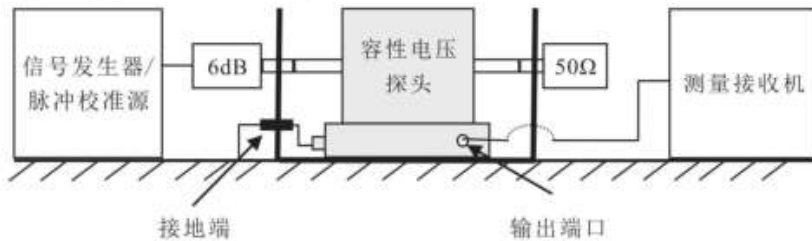


图 6 脉冲响应校准示意图

7.4.2 设置信号发生器频率为 150kHz,输出电平为 66dB μ V,设置测量接收机与信号发生器频率相同,内置衰减器为自动,检波器置于准峰值模式,测量时间 160ms,带宽 9kHz,记录测量接收机显示的电平 L_s 于附录 A 表 A.4 中。

7.4.3 断开信号发生器和校准夹具的连接,连接脉冲校准源到校准夹具的输入端,其他连接保持不变。

7.4.4 置脉冲校准源于 B 波段,电平为 66dB μ V,脉冲重复频率 100Hz,测量接收机的设置保持不变,记录测量接收机显示的电平 L_i 于附录 A 表 A.4 中。

7.4.5 用下式(4)计算容性电压探头的脉冲响应:

$$L = L_i - L_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

L ——脉冲响应实测值, dB;

L_i ——连接脉冲校准源时,测量接收机读数值, dB μ V;

L_s ——连接信号发生器时,测量接收机读数值, dB μ V。

7.4.6 改变测量接收机的频率,在容性电压探头的频率范围内测量不同频率点的脉冲响应,所选频率点应包括起始频率 150kHz 和上限频率 30MHz。

7.5 电压驻波比

7.5.1 设置网络分析仪为单端口测量 S_{11} ,中频带宽设为不大于 100Hz,起始频率为 9kHz,终止频率大于 100MHz,用开路-短路-负载校准件对网络分析仪进行单端口自校准,选择电压驻波比测量功能。

7.5.2 如下图 7 所示,将容性电压探头的输出端直接接至网络分析仪的测量端口。

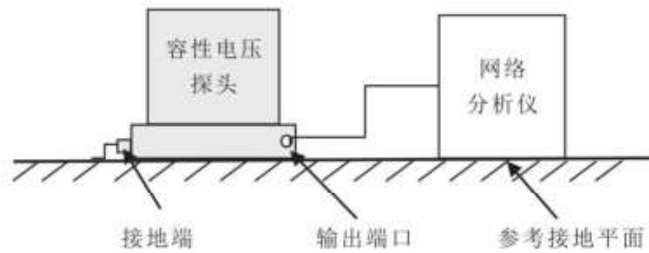


图7 电压驻波比测量示意图

7.5.3 用网络分析仪标记功能读取各频率点的电压驻波比 S_{VSWR} ，所选频率点应包括容性电压探头频率的上下限频率，记录容性电压探头的电压驻波比 S_{VSWR} 于附录 A 表 A.5 中。

8 校准结果表达

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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 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
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 分压系数频率响应

表 A.2 分压系数频率响应

线径: mm					
频率	标称值 F_s/dB	骚扰电压 $V/\text{dB}\mu\text{V}$	输出电压 $V_m/\text{dB}\mu\text{V}$	实测值 F_{CVP}/dB	不确定度 ($k=2$)
9kHz					
...					
100MHz					

A.3 屏蔽效能

表 A.3 屏蔽效能

频率	骚扰电压 $V_s/\text{dB}\mu\text{V}$	输出电压 $V_{\text{sm}}/\text{dB}\mu\text{V}$	屏蔽效能 F_s/dB	不确定度 ($k=2$)
9kHz				
...				
100MHz				

A.4 脉冲响应

表 A.4 脉冲响应

频率	正弦信号的响应 $L_s/\text{dB}(\mu\text{V})$	试验脉冲的响应 $L_i/\text{dB}(\mu\text{V})$	脉冲响应 L/dB	不确定度 ($k=2$)
150kHz				
...				
30MHz				

A.5 电压驻波比

表 A.5 电压驻波比

频率	电压驻波比 S_{VSWR}	不确定度 ($k=2$)
9kHz		
...		
100MHz		

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
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 分压系数频率响应

表 B.2 分压系数频率响应

线径: mm			
频率	标称值 F_s/dB	实测值 F_{CVP}/dB	不确定度 ($k=2$)
9kHz			
...			
100MHz			

B.3 屏蔽效能

表 B.3 屏蔽效能

频率	屏蔽效能 F_s/dB	不确定度 ($k=2$)
9kHz		
...		
100MHz		

B.4 脉冲响应

表 B.4 脉冲响应

频率	正弦信号的响应 $L_s/\text{dB}(\mu\text{V})$	试验脉冲的响应 $L_i/\text{dB}(\mu\text{V})$	脉冲响应 L/dB	不确定度 ($k=2$)
150kHz				
...				
30MHz				

B.5 电压驻波比

表 B.5 电压驻波比

频率	电压驻波比 S_{VSWR}	不确定度 ($k=2$)
9kHz		
...		
100MHz		

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 分压系数测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

分压系数校准的测量模型为:

$$F_{\text{CVP}} = (V_{\text{dB}} - V_{\text{m}_{\text{dB}}}) + \delta_{\text{F}} + \delta_{\text{T}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中:

F_{CVP} ——分压系数, dB;

V_{dB} ——骚扰电压示值, dB μ V;

$V_{\text{m}_{\text{dB}}}$ ——容性电压探头输出电压示值, dB μ V;

δ_{F} ——校准夹具误差, dB;

δ_{T} ——系统失配误差, dB。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有:测量接收机误差、校准夹具误差、系统失配误差、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 测量接收机最大允差引入的不确定度分量 u_1

测量接收机电平测量最大允差为 ± 0.5 dB, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则不确定度分量 $u_1 = 0.5 \text{ dB} / \sqrt{3} = 0.289 \text{ dB}$ 。

C.1.3.2 测量接收机幅度测量线性引入的不确定度分量 u_2

分压系数校准时测量接收机幅度线性最大为 ± 0.1 dB, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则不确定度分量 $u_2 = 0.1 \text{ dB} / \sqrt{3} = 0.058 \text{ dB}$ 。

C.1.3.3 校准夹具误差引入的不确定度分量 u_3

校准夹具插入损耗最大为 0.3 dB, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则由此引入的不确定度分量最大为 $u_3 = 0.3 \text{ dB} / \sqrt{3} = 0.173 \text{ dB}$ 。

C.1.3.4 系统失配误差引入的标准不确定度分量 u_4

校准系统失配误差最大按 0.10 dB 计算, 按反正弦分布, 包含因子 $k = \sqrt{2}$, 由此引入的不确定度分量为: $u_4 = 0.10 \text{ dB} / \sqrt{2} = 0.071 \text{ dB}$ 。

C.1.3.5 示值分辨力引入的不确定度分量 u_5

测量接收机电平分辩力为 0.1 dB, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 由分辨力引入的不确定度分量 $u_5 = 0.05 \text{ dB} / \sqrt{3} = 0.029 \text{ dB}$ 。

C.1.3.6 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

对容性电压探头分压系数@ 30MHz 进行重复性测量,结果如下表(dB):

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	33.7	33.6	33.8	33.5	33.6
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	33.5	33.8	33.6	33.6	33.8
平均值 $\bar{x}_n$	33.65dB		标准差 s	0.12dB	

$$\text{测量重复性引入的标准不确定度分量 } u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x}_n)^2}{(n-1)}} = 0.12\text{dB}。$$

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_5 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(u_i)	a_i (dB)	k_i	u_i (dB)
测量接收机最大允差, u_1	0.5	$\sqrt{3}$	0.289
测量接收机幅度线性误差, u_2	0.1	$\sqrt{3}$	0.058
校准夹具误差, u_3	0.3	$\sqrt{3}$	0.173
系统失配误差, u_4	0.1	$\sqrt{2}$	0.071
测量重复性, u_A	0.12	1	0.12

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,合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_A^2} = 0.37\text{dB}$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 0.8\text{dB}, k=2。$$