



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

容性电压探头校准规范

Calibration Specification of Capacitive Voltage Probes

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

容性电压探头校准规范

Calibration Specification of Capacitive
Voltage Probes

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

辽宁省计量科学研究院

参加起草单位：广电计量检测集体股份有限公司

江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）

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：

参加起草人：

目 录

目 录	1
引 言	11
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 分压系数	2
5.2 屏蔽效能	2
5.3 电压驻波比	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 校准用设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	4
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 原始记录内页格式	9
附录 B 校准证书内页格式	10
附录 C 测量不确定度评定示例	11
附录 D (资料性) 容性电压探头脉冲响应的确认方法	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。

本规范编制中参考了下列文件：

GB/T 6113.102 《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: 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

本规范为首次发布。

容性电压探头校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围在 150kHz~30MHz 容性电压探头的校准，其他频率范围的容性电压探头可参照执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 6113.102 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: 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）

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容性电压探头输出端口电压的比值，简称分压系数，单位：dB。

$$F_{\text{CVP}} = 20\lg \left| \frac{V}{V_m} \right| \quad (1)$$

式中：

F_{CVP} ——电压分压系数，dB；

V ——电缆上的骚扰电压，V；

V_m ——容性电压探头输出电压，V。

3.2 屏蔽效能 shielding effectiveness SE

将容性电压探头附近的其他电缆移开后，由静电耦合引起的电场影响减少量。单位：dB。

4 概述

容性电压探头（Capacitive Voltage Probe，简称CVP）一般由内、外两个同轴电极、接地端、电缆夹具和跨阻放大器组成。外电极用于静电屏蔽，以降低沿电缆外皮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，由高输入阻抗放大器检测出，经过跨阻放大器转换成低阻抗，该静电感应电压可使用相应频段低阻抗设备直接测量。

容性电压探头主要用于电磁兼容测试中无线电骚扰的测试，可以在不与源导线直接导电接触和不改变其电路的情况下直接测量电缆的不对称骚扰电压。容性探头校准夹具模拟线缆是由硬质金属组成的标准电缆，电缆直径一般为8mm、12mm、15mm、22mm组成。容性电压探头的结构如下图1所示。

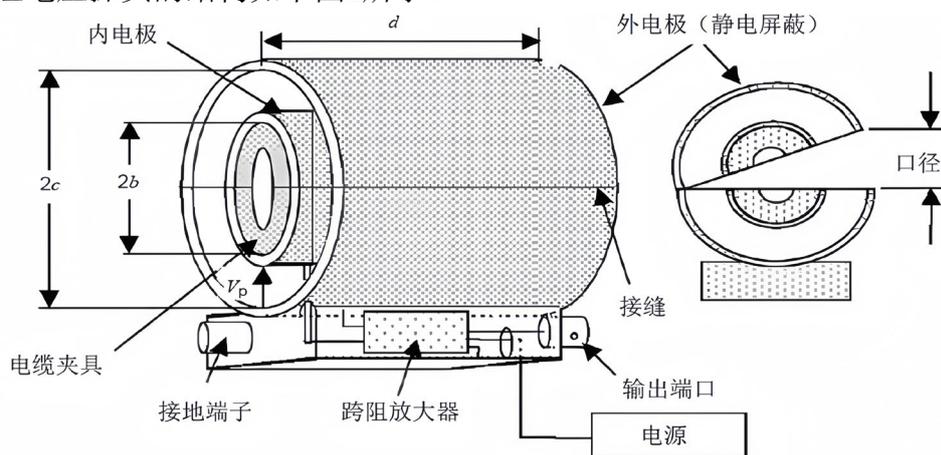


图1 容性电压探头的结构示意图

5 计量特性

5.1 分压系数

频率范围：150kHz~30MHz；

分压系数：(20~40)dB；

最大允许误差： ± 0.5 dB。

5.2 屏蔽效能

频率范围：150kHz~30MHz；

屏蔽效能： $\geq 20\text{dB}$ 。

5.3 电压驻波比

频率范围：150kHz~30MHz；

电压驻波比： ≤ 1.2 。

注：以上技术指标仅提供参考，不作为符合性判定依据。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1环境温度： (23 ± 5) °C。

6.1.2相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3供电电源：电压 $(220\pm 11)\text{V}$ ，频率 $(50\pm 1)\text{Hz}$ 。

6.1.4周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 校准用设备

6.2.1 网络分析仪

频率范围：150kHz~30MHz；

动态范围： $\geq 100\text{dB}$ ；

传输系数模值最大允许误差： $\pm(0.1\text{ dB}\sim 0.5\text{ dB})$ ；

电压驻波比测量最大允许误差： ± 0.04 。

6.2.2 校准夹具

频率范围：150kHz~30MHz；

插入损耗： $< 0.3\text{dB}$ 。

6.2.3 同轴衰减器

频率范围：150kHz~30MHz；

衰减值：10dB；

电压驻波比： ≤ 1.2 。

6.2.4 50Ω同轴负载

频率范围：150kHz~30MHz；

电压驻波比：≤1.1。

6.2.5 量具

测量范围：不小于10cm；

最小分度值：1mm；

最大允许误差：±0.5mm。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

容性电压探头校准项目见表1。

表1 校准项目

序号	校准项目名称	条款
1	分压系数	7.2.2
2	屏蔽效能	7.2.3
3	电压驻波比	7.2.4

7.2 校准方法

7.2.1 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。

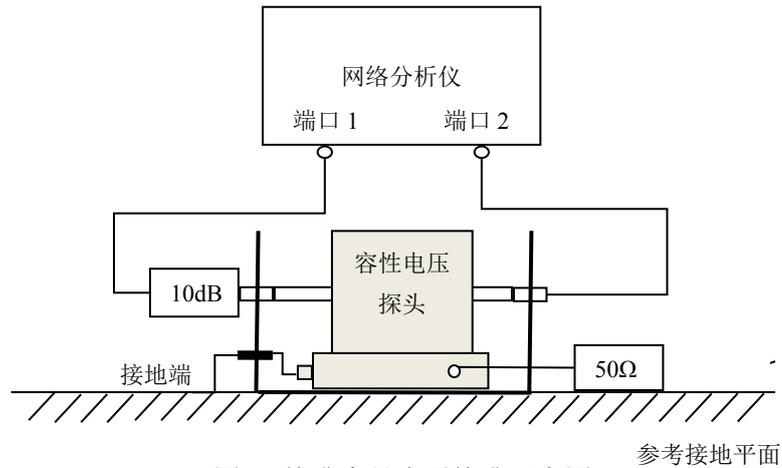
应根据附录D所描述的测量程序验证容性电压探头的脉冲响应参数，其分压系数应符合线性特性要求。

7.2.2 分压系数

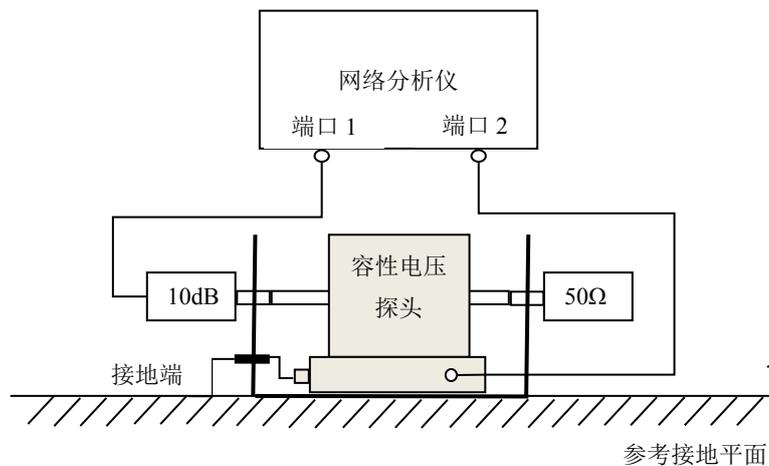
a) 在测量前对网络分析仪做完全2端口自校准，网络分析仪的测量模式设置为传输测量 S_{21} ，扫描模式设置为对数频率，源信号功率设置为0dBm，中频带宽设为不大于100Hz，起始频率为150kHz，终止频率大于等于30MHz。

b) 按图2连接仪器，在网络分析仪的测试端口1，通过10dB衰减器连到容性电压探头夹具端口，校准夹具另外一端口连接到网络分析仪端口2上，容性电压探头输出端口

连接 50Ω 同轴负载，并对网络分析仪进行直通校准。



c) 按图3连接仪器，网络分析仪的端口2连接容性电压探头输出端口，校准夹具连接 50Ω 同轴负载。用网络分析仪标记功能分别读取 $150\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$ 内的 S_{21} 值，即为分压系数 F_{CVP} 测量结果，将结果记录于附录A表A.2中。



d) 更换不同的线径，重复步骤b)～c)，完成其他线径下分压系数的校准，将结果记录于附录A表A.2中。

7.2.3 屏蔽效能

a) 按图 4 连接仪器，将被校容性电压探头放置在标准电缆旁边，容性电压探头中

心轴应与标准电缆等高且平行，距离 s 为 1cm，容性电压探头的接地端口与校准夹具的内接地端口连接，容性电压探头输出端口连接 50Ω 同轴负载，校准夹具的外部接地端与参考接地平面连接，对网络分析仪进行直通校准。

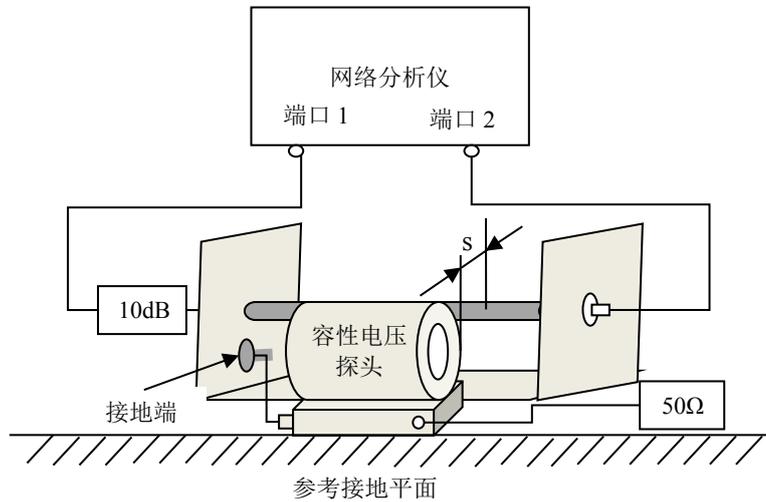


图4 电缆中骚扰电压测量示意图

b) 按图5连接仪器，将网络分析仪端口2连接到容性电压探头输出端，校准夹具相应端口连接 50Ω 同轴负载，用网络分析仪标记功能读取不同频率点的传输测量值 F_{SM} ，并记录附录A表A.3中。

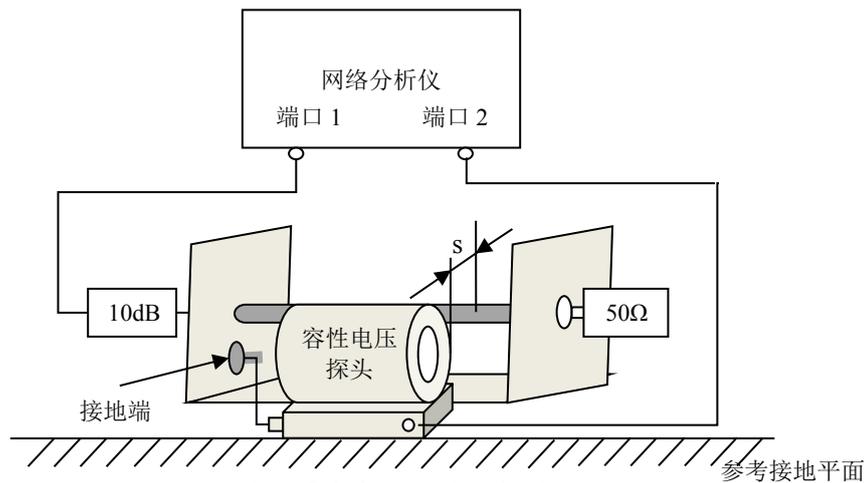


图5 感应电压测量示意图

c) 屏蔽效能 F_s 用下式(2)计算：

$$F_S = F_{CVP} - F_{SM} \quad (2)$$

式中：

F_S ——屏蔽效能，dB；

F_{SM} ——容性电压探头受外部电场影响下的传输系数测量值，dB；

F_{CVP} ——容性电压探头电压分压系数，dB。

7.2.4 电压驻波比

a) 按图 6 连接仪器，将网络分析仪端口 2 连接到容性电压探头输出端口。

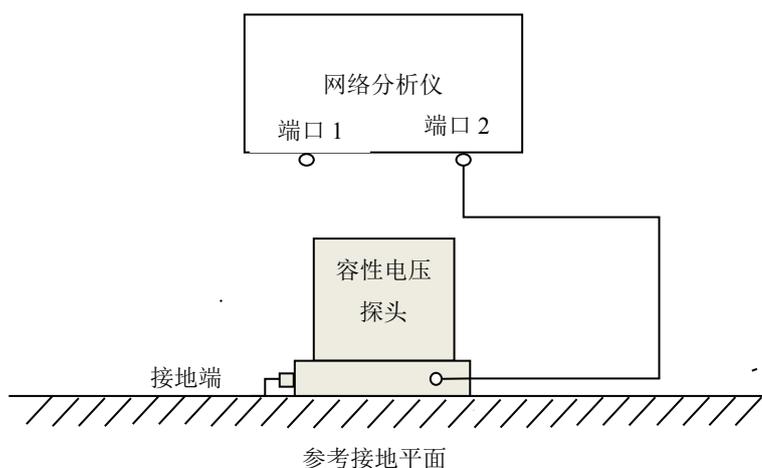


图 6 电压驻波比测量示意图

b) 设置网络分析仪为电压驻波比 VSWR 测试状态，中频带宽设为不大于 100Hz，起始频率为 150kHz，终止频率大于 30MHz。

c) 用网络分析仪标记功能读取各频率点的电压驻波比 VSWR，所选频率点应包括容性电压探头频率的上下限频率，记录于附录 A 表 A.4 中。

8 校准结果表达

容性电压探头校准后，出具校准证书，校准证书至少包含以下信息：

- 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

容性电压探头的复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 推荐为 1 年。

附录 A 原始记录内页格式

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、工作正常性检查	

A.2 分压系数频率响应

表 A.2 分压系数

线径 (mm)	频率	实测值 F_{CVP}/dB	扩展不确定度($k=2$)
	150kHz		
	...		
	30MHz		

A.3 屏蔽效能

表 A.3 屏蔽效能

频率	传输系数 F_{sm}/dB	屏蔽效能 F_s/dB	扩展不确定度($k=2$)
150kHz			
...			
30MHz			

A.4 电压驻波比

表 A.4 电压驻波比

频率	电压驻波比	不确定度($k=2$)
150kHz		
...		
30MHz		

附录 B 校准证书内页格式

校准证书内页格式

B.1 分压系数频率响应

表 B.1 分压系数频率响应

线径 (mm)	频率	实测值 F_{CVP}/dB	扩展不确定度($k=2$)
	150kHz		
	...		
	30MHz		

B.2 屏蔽效能

表 B.2 屏蔽效能

频率	屏蔽效能 F_S/dB	扩展不确定度($k=2$)
150kHz		
...		
30MHz		

B.3 电压驻波比

表 B.3 电压驻波比

频率	电压驻波比	扩展不确定度($k=2$)
150kHz		
...		
30MHz		

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 分压系数测量不确定度

C.1.1 校准方法

分压系数由网络分析仪直接测量得到。

C.1.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源有以下 4 项：

- (1) 网络分析仪传输系数模值测量不确定度引入的标准不确定度 u_1 ；
- (2) 失配误差引入的标准不确定度 u_2 ；
- (3) 负载阻抗不准引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4) 重复性引入的标准不确定度 u_4 。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 网络分析仪传输系数模值测量误差引入的标准不确定度分量 u_1

根据技术说明书，在频率为 1MHz 时，网络分析仪传输系数模值的最大允许误差为： $\pm 0.1\text{dB}$ ，所以其标准不确定度 $u_1 = \frac{0.1\text{dB}}{\sqrt{3}} \approx 0.67\%$ 。

C.1.3.2 失配误差引入的标准不确定度分量 u_2

由于电压探头输出端与网络分析仪输入端阻抗，会产生失配误差而影响传输测量结果。

网络分析仪说明书或实测值输入端电压驻波比 ≤ 1.2 ；

电压探头说明书或实测值输出端电压驻波比 ≤ 1.2 ；

失配误差极限用下式估计：

$$\Delta_p = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{\text{out}}| |\Gamma_{\text{in}}| \quad (\text{C.1})$$

Δ_p ——失配误差极限值，dB；

$|\Gamma_{\text{out}}|$ ——电压探头输出端反射系数；

$|\Gamma_{\text{in}}|$ ——网络分析仪输入端反射系数。

得到：

$$|\Gamma_{\text{out}}| = (1.2 - 1)/(1.2 + 1) = 0.09$$

$$|\Gamma_{\text{in}}| = (1.2 - 1)/(1.2 + 1) = 0.09$$

$$\Delta_p = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{\text{out}}| |\Gamma_{\text{in}}| \approx 0.1(\text{dB})$$

故失配误差范围为 $\pm 0.1\text{dB}$ ，区间半宽为 0.1dB ，按反正弦分布处理，取 $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_2 = 0.1\text{dB}/\sqrt{2} = 0.071\text{dB} \approx 0.82\%$$

C.1.3.3 负载阻抗不准引入的标准不确定度分量 u_3

负载阻抗不准对分压系数测量结果的影响量不大于 $\pm 0.1\text{dB}$ ，按反正弦分布处理，取 $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u_3 = 0.1\text{dB}/\sqrt{2} = 0.071\text{dB} \approx 0.82\%$$

C.1.3.4 重复性引入的标准不确定度分量 u_4

对 1MHz 频率下的分压系数做了 10 次测量，结果列于表C.1。

表 C.1 1MHz 频率下分压系数重复测量结果

序次	1	2	3	4	5
测量值/Db	-33.83	-33.87	-33.92	-33.87	-33.97
序次	6	7	8	9	10
测量值/Db	-33.83	-33.91	-33.90	-33.85	-33.84

由贝塞尔公式计算出重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_4 = 0.046\text{dB} \approx 0.53\%$$

C.1.4 不确定度分量汇总

分压系数校准结果的测量不确定分量汇总于表C.2中。

表 C.2 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	$u_i(x)$	灵敏系数 c_i	$u_i(y)$
u_1	传输模值测量误差	B	1.4%	1	0.67%
Bu_2	失配误差	B	1.7%	1	0.82%
u_3	负载阻抗不准	B	1.7%	1	0.82%
u_4	测量重复性	A	1.1%	1	0.53%

C.1.5 合成标准不确定度

各分量互不相关， $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 c_i^2 u_i^2(y)} = 1.5\%$

转化为dB表示为： $u_c \approx 0.13\text{dB}$

C.1.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ， $U = 2 \times u_c = 0.26\text{dB}$

附录 D（资料性）

容性电压探头脉冲响应的验证方法

由于容性电压探头（CVP）内部没有检波器和带通滤波器，所以现实中使用脉冲发生器来测量脉冲响应很困难。探头的脉冲特性可以使用峰值等于脉冲峰值的正弦连续波测量探头的线性特征予以验证。

脉冲发生器的冲激脉冲面积在 0.15MHz~30MHz 为 0.316mV_S。脉冲信号发生器的频谱在 30MHz 以下实际为常数。脉冲宽度：

$$\tau = \frac{1}{\pi f_m}$$

式中， f_m 为 30MHz，因此得到 $\tau = 0.0106\mu\text{s}$ 。

脉冲幅度 A 由式给出：

$$A = 0.316/\tau = 29.8 \text{ V}$$

容性电压探头（CVP）在 30V 以下都需要保持线性。

当信号发生器的幅度进行变化直至 30V 时，通过测量分压系数 F_{CVP} 来验证其线性特性。

如图 D.1 所示：

信号发生器输出信号，经功率放大器放大后，加载到校准夹具上，夹具另一端接 50Ω 终端负载，容性电压探头输出接到测量接收机或频谱分析仪上，通过改变信号发生器的输出功率，验证容性电压探头在 150kHz~30MHz 内，分压系数是否满足线性特性。

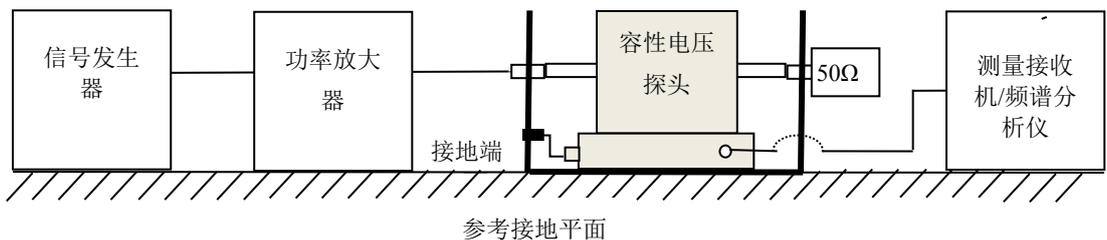


图 D.1 脉冲响应验证示意图