

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)××××─ ××××

电磁兼容高阻抗电压探头校准规范

Calibration Specification for EMC High Impedance Voltage Probes

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

电磁兼容高阻抗电压探头

校准规范

Calibration Specification for EMC High Impedance Voltage Probes

Calibration Specification for EMC High Impedance Voltage Probes

**JJF(电子)××××─××××**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子技术标准化研究院

江苏省电子信息产品质量监督检验研究院

（江苏省信息安全测评中心）

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 婷（中国电子技术标准化研究院）

朱明星（江苏省电子信息产品质量监督检验研究院）

褚 楚（中国电子技术标准化研究院）

参加起草人：

齐昕雨（江苏省电子信息产品质量监督检验研究院）

邓天垚（江苏省电子信息产品质量监督检验研究院）

张 珊（中国电子技术标准化研究院）

目录

[引言 II](#_Toc5326)

[1 范围 1](#_Toc1176)

[2 引用文件 1](#_Toc13096)

[3 概述 1](#_Toc11296)

[4 计量特性 2](#_Toc30699)

[4.1 电压分压系数 2](#_Toc25183)

[4.2 输入阻抗 2](#_Toc9141)

[5 校准条件 2](#_Toc24335)

[5.1 环境条件 2](#_Toc27297)

[5.2 测量标准及其他设备 3](#_Toc7167)

[6 校准项目和校准方法 3](#_Toc9430)

[6.1 校准项目 3](#_Toc10218)

[6.2 外观及工作正常性检查 3](#_Toc10387)

[6.3 电压分压系数的校准 3](#_Toc8410)

[6.4 输入阻抗的校准 4](#_Toc16754)

[7 校准结果表达 5](#_Toc6863)

[8 复校时间间隔 6](#_Toc5887)

[附录A 7](#_Toc7301)

[附录B 8](#_Toc9435)

[附录C 9](#_Toc27538)

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。

电磁兼容高阻抗电压探头校准规范

# 1 范围

本规范适用于符合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》中5.2要求的电磁兼容高阻抗电压探头（以下简称“电压探头”）的校准。与电压探头配合使用的衰减器（分压器）的校准可参考使用。

# 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 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 概述

电压探头是传导骚扰测试系统中的重要辅助设备，当不能使用人工电源网络（AMN）来测量端子的骚扰电压时，可以使用电压探头来测量。电压探头是由一个隔直电容器*C*和一个电阻*R*串联组成的，使得电源线与地之间的总电阻值为1500Ω。此探头也可用来测量其他电源线上的电压，此时可能需要增加探头的输入阻抗，以避免高阻抗电路过载。为安全起见，电感可跨接在测量接收机的输入端（与地之间），其感抗*X*L宜远大于*R*。

电压探头的结构原理图如图1所示。



图1 电压探头结构原理图

# 4 计量特性

# 4.1 电压分压系数

频率范围：9kHz～30MHz；

典型值：30dB，±1dB。

# 4.2 输入阻抗

阻抗模值参考值：1500Ω，±5%。

# 5 校准条件

# 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：（23±5）℃；

5.1.2 相对湿度：20%～80%；

5.1.3 电源要求：（220±22）V，（50±1）Hz；

5.1.4 周围无影响校准系统正常工作的电磁干扰和机械振动；

5.1.5 保证校准过程中对静电有严格的静电防护措施（如仪器的良好接地、防静电工作服及手环使用等）。

# 5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 网络分析仪

频率范围：9kHz～30MHz；

动态范围：≥60dB；

传输系数幅值测量最大允许误差：±（0.01～0.4）dB；

阻抗测量最大允许误差：±5%。

5.2.2 50Ω同轴匹配负载

频率范围：9kHz～30MHz；

电压驻波比：≤1.05。

5.2.3 T型三通

频率范围：9kHz～30MHz；

插入损耗：≤0.1dB。

# 6 校准项目和校准方法

# 6.1 校准项目

校准项目如表1所示。

**表1 校准项目表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 类型 | 条款 |
| 1 | 外观及工作正常性检查 | 功能检查 | 7.2 |
| 2 | 电压分压系数 | 量值校准 | 7.3 |
| 3 | 输入阻抗 | 量值校准 | 7.4 |

# 6.2 外观及工作正常性检查

被校电压探头应结构完好，探头上的插针、接线端子等外露件不应损坏或脱落，不应有影响正常工作的机械碰伤，接线端子等连接器不应有接触不良的现象，将检查结果记录于附录A表A.1中。

# 6.3 电压分压系数的校准

6.3.1 测量仪器按照说明书的要求进行预热。网络分析仪的扫频范围设置为9kHz～30MHz，测量模式设置为*S*21传输测量，测量格式设置为对数幅度，源功率电平设置为0dBm，中频带宽设置为1kHz或更小。

6.3.2 按照图2连接设备，进行参考测量。电压探头输出端口接50Ω匹配负载，输入端子通过BNC转香蕉头连接器与T型三通的端口③连接，网络分析仪端口1和端口2通过线缆分别连接至T型三通的端口①和②。

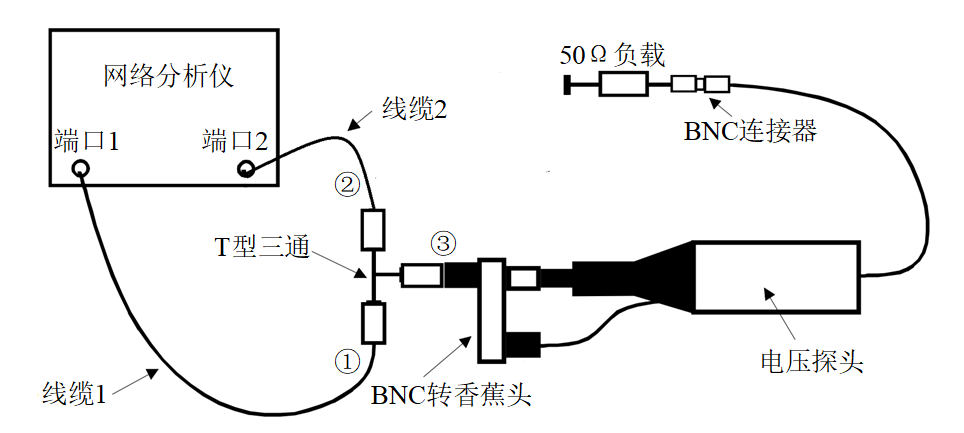


图2 电压分压系数的参考测量布置

6.3.3 网络分析仪进行“直通”校准。

6.3.4 按照图3改变电路连接，T型三通的端口②改接50Ω匹配负载，电压探头的输出端连接至网络分析仪的端口2。

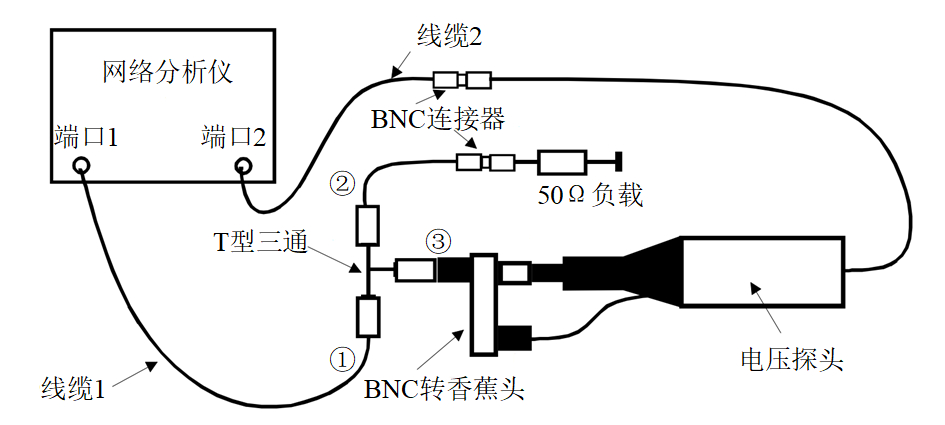


图3 电压分压系数的测量布置

6.3.5 对网络分析仪执行*S*21测量。按照被测仪器技术说明书和用户需求，在网络分析仪上使用游标读出待测频率点的*S*21传输测量结果，取绝对值即为被校电压探头的电压分压系数值，记录在附录A表A.2中。

# 6.4 输入阻抗的校准

6.4.1 网络分析仪的扫频范围设置为9kHz～30MHz，源功率电平设置为0dBm，中频带宽设置为1kHz或更小，阻抗测量结果设为“模值-相角”格式。网络分析仪端口1连接对应线缆后进行“开路-短路-匹配”单端口校准。

6.4.2 按照图4所示，电压探头输入端子通过BNC转香蕉头连接器与网络分析仪端口1对应的线缆1连接，电压探头的输出端口接50Ω匹配负载。



图4 输入阻抗的测量布置

6.4.3 对网络分析仪执行*S*11测量。按照被测仪器技术说明书和用户需求，在网络分析仪上使用游标读出待测频率点的阻抗测量结果，取阻抗模值即为被校电压探头的输入阻抗值，记录在附录A表A.3中。

# 7 校准结果表达

电压探头校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

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。

# 8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，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。

推荐复校时间间隔为12个月。

附录A

校准原始记录格式

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 |  |

表A.2　电压分压系数校准记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 电压分压系数标称值/dB | 电压分压系数实测值/dB | 不确定度*U*（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

表A.3　输入阻抗校准记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 输入阻抗标称值/Ω | 输入阻抗实测值/Ω | 不确定度*U*（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

附录B

校准证书内页格式

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 |  |

表B.2　电压分压系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 电压分压系数标称值/dB | 电压分压系数实测值/dB | 不确定度*U*（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

表B.3　输入阻抗

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 输入阻抗标称值/Ω | 输入阻抗实测值/Ω | 不确定度*U*（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

附录C

测量不确定度评定示例

**C.1** 电压分压系数校准的测量不确定度评定

C 1.1 测量模型

依据校准原理，电压分压系数测量模型如式（C.1）

*VDF* = |*S*21| （C.1）

式中：*VDF* — 被测电压分压系数，dB；

*S*21 — 网络分析仪传输幅度读数示值，dB。

C.1.2 不确定度来源

1. 网络分析仪传输幅度测量的最大允许误差引入的标准不确定度*u*1；
2. T型三通插入损耗引入的标准不确定度*u*2；
3. 校准适配器插入损耗引入的标准不确定度*u*3；
4. 失配误差引入的标准不确定度*u*4；
5. 负载阻抗变化引入的标准不确定度*u*5；
6. 测量重复性变化引入的不确定度分量*u*6。

C.1.3 标准不确定度分量的评定

1. 网络分析仪传输幅度测量的最大允许误差引入的标准不确定度*u*1

用B类方法评定。网络分析仪传输幅度测量的最大允许误差为±0.2dB，则区间半宽为0.2dB，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*1=0.2dB/=0.115dB

1. T型三通插入损耗引入的标准不确定度*u*2

用B类方法评定。T型三通插入损耗最大为0.1 dB，则区间半宽为0.05dB，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*2=0.05dB/=0.029dB

1. 校准适配器插入损耗引入的标准不确定度*u*3

用B类方法评定。校准适配器插入损耗最大为0.2dB，则区间半宽为0.1dB，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*3=0.1dB/=0.058dB

1. 失配误差引入的标准不确定度*u*4

用B类方法评定。电压探头输出端连接网络分析仪输入端，由于阻抗无法完全匹配，会产生失配误差影响测量结果。

电压探头输出端电压驻波比≤1.1。

网络分析仪输入端电压驻波比≤1.2。

失配误差极限用下式估计：

*Δ*p=4.34×2×|*Γ*out||*Γ*in|

式中：*Δ*p — 失配误差极限值，dB；

|*Γ*out| — 电压探头输出端反射系数；

|*Γ*in| — 网络分析仪输入端反射系数。

根据仪器设备的技术指标，得到：

|*Γ*out|=（1.1-1）/（1.1+1）=0.05

|*Γ*in|=（1.2-1）/（1.2+1）=0.09

*Δ*p=4.34×2×|*Γ*out| |*Γ*in|≈0.039dB

失配误差范围为±0.039dB，按反正弦分布处理，*k*=，则：

*u*4=0.039dB/=0.028dB

1. 负载阻抗变化引入的标准不确定度*u*5

用B类方法评定。负载阻抗变化会导致接入电压探头输入探针的信号电平变化，带来测量偏差。采用不同性能的负载做了一组实验，测得负载阻抗变化对测量结果的影响量约为±0.1dB，按反正弦分布处理，*k*=，则：

*u*5=0.1dB/=0.071dB

1. 测量重复性变化引入的不确定度分量*u*6

按A类方法评定。按照7.3中的方法测量电压探头在10 MHz的电压分压系数，进行独立重复测量10次，重复性测试数据见表C.1。

**表C.1 10MHz电压分压系数测量数据**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/dB | 30.08 | 30.02 | 29.98 | 30.09 | 30.04 | 29.99 | 30.07 | 30.11 | 30.08 | 30.01 |
| /dB | 30.047 | | | | | | | | | |
| /dB | 0.05 | | | | | | | | | |

用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准偏差为0.05dB。校准值由*m*（*m*=1）次读数的算数平均值得到，故由重复性引起的测量不确定度分量为：

*u*6=0.05dB/=0.05dB

C.1.4 合成标准不确定度

电压分压系数的测量不确定度汇总于表C.2中。

**表C.2 电压分压系数测量不确定度分量一览表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度  分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布 | *k*值 | 标准不确定度 |
| *u*1 | 网络分析仪传输幅度测量的最大允许误差 | B | 均匀 |  | 0.115dB |
| *u*2 | T型三通插入损耗 | B | 均匀 |  | 0.029dB |
| *u*3 | 校准适配器 | B | 均匀 |  | 0.058dB |
| *u*4 | 失配误差 | B | 反正弦 |  | 0.028dB |
| *u*5 | 负载阻抗变化 | B | 反正弦 |  | 0.071dB |
| *u*6 | 测量重复性变化 | A | -- | -- | 0.05dB |

以上各不确定度分量独立不相关，根据下面公式，则合成标准不确定度为：

≈ 0.16 dB

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子=2，则扩展不确定度= 0.32dB。

**C.2** 输入阻抗校准的测量不确定度评定

C 2.1 测量模型

依据校准原理，输入阻抗测量模型如式（C.2）

*Z* = *Z*x （C.2）

式中：*Z* — 被测输入阻抗，Ω；

*Z*x — 网络分析仪阻抗模值读数示值，Ω。

C.2.2 不确定度来源

1. 网络分析仪阻抗模值测量的最大允许误差引入的标准不确定度*u*1；
2. 校准适配器引入的标准不确定度*u*2；
3. 端接负载阻抗变化引入的标准不确定度*u*3；
4. 测量重复性变化引入的不确定度分量*u*4。

C.2.3 标准不确定度分量的评定

1. 网络分析仪阻抗模值测量的最大允许误差引入的标准不确定度*u*1

用B类方法评定。网络分析仪阻抗模值测量的最大允许误差为±1.2%，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*1=1.2%/=0.69%

1. 校准适配器引入的标准不确定度*u*2

用B类方法评定。校准适配器用于实现同轴与非同轴的转换，由于寄生参数的存在，适配器会使阻抗校准结果产生偏差，实验数据表明，校准适配器对阻抗模值测量结果的影响量为±2.5%，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*2=2.5%/=1.44%

1. 端接负载阻抗变化引入的标准不确定度*u*3

用B类方法评定。在对电压探头的输入阻抗进行校准时，需要在输出端端接50 Ω同轴匹配负载，由于无法为理想的50 Ω，测量端接负载的驻波比VSWR小于1.02，经计算分析，对阻抗模值测量结果的影响量为±2%，假设为均匀分布，*k*=，则：

*u*3=2%/=1.15%

1. 测量重复性变化引入的不确定度分量*u*4

按A类方法评定。按照7.4中的方法测量电压探头在10MHz的输入阻抗,进行独立重复测量10次，重复性测试数据见表C.3。算术平均值为1502.4 Ω。

**表C.3 10MHz输入阻抗测量数据**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/Ω | 1505 | 1496 | 1504 | 1497 | 1503 | 1508 | 1494 | 1509 | 1507 | 1501 |
| /Ω | 1502.4 | | | | | | | | | |
| /Ω | 5.26 | | | | | | | | | |

用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准偏差为5.26 Ω。校准值由*m*（*m*=1）次读数的算术平均值得到，故由重复性引起的测量不确定度分量为：

*u*4=5.26 Ω/（1502.4 Ω·）=0.35%

C.2.4 合成标准不确定度

输入阻抗的测量不确定度汇总于表C.4中。

**表C.4 输入阻抗测量不确定度分量一览表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度  分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布 | *k*值 | 标准不确定度 |
| *u*1 | 网络分析仪阻抗模值测量的最大允许误差 | B | 均匀 |  | 0.69% |
| *u*2 | 校准适配器 | B | 均匀 |  | 1.44% |
| *u*3 | 远端负载阻抗变化 | B | 均匀 |  | 1.15% |
| *u*4 | 测量重复性变化 | A | -- | -- | 0.35% |

以上各不确定度分量独立不相关，根据下面公式，则合成标准不确定度为：

≈ 2.0%

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子=2，则扩展不确定度= 4%。