

人 和 国 国 家 标 准

GB/T 113.104—2021/C SPR 1 -1-4:2019

代 GB/T 113.104—201

无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

第 1-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地

Specification for radio disturbance and immunity
measuring apparatus and methods—

Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus—
Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

(C SPR 1 -1-4:2019, DT)

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩略语	5
4 无线电辐射骚扰测量用天线	6
4.1 概述	6
4.2 辐射骚扰测量的物理参数(被测量)	6
4.3 频率范围 9 kHz~150 kHz 的天线	6
4.4 频率范围 150 kHz~30 MHz 的天线	7
4.5 频率范围 30 MHz~1 000 MHz 的天线	7
4.6 频率范围 1 GHz~18 GHz 的天线	11
4.7 特殊的天线配置——大环天线系统	13
5 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(9 kHz~30 MHz)	14
6 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(30 MHz~1 000 MHz)	14
6.1 概述	14
6.2 开阔试验场地	14
6.3 其他类型的试验场地的适用性	16
6.4 试验场地确认	17
6.5 OATS 和 SAC 的 NSA 法的基本参数	18
6.6 用于 OATS 和 SAC 场地确认的参考场地法	21
6.7 使用 NSA 方法确认 OATS	25
6.8 具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 的确认	26
6.9 超出场地可接受限值的一些可能的原因	29
6.10 FAR 的场地确认	29
6.11 试验桌和天线塔影响的评估	36
7 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(1 GHz~18 GHz)	38
7.1 概述	38
7.2 参考试验场地	38
7.3 试验场地的确认	38
7.4 S_{VSWR} 标准试验程序的天线要求	40
7.5 场地确认试验所要求的位置点	43
7.6 S_{VSWR} 场地确认——标准试验程序	47
7.7 S_{VSWR} 场地确认——使用全向场强探头的互易测试方法	48

7.8	S_{VSWR} 有条件的测量位置的要求	49
7.9	S_{VSWR} 场地确认测试报告	50
7.10	S_{VSWR} 场地评估方法的限制条件	50
7.11	可替换的试验场地	50
8	共模吸收装置	50
8.1	概述	50
8.2	CMAD 的 S 参数测量	50
8.3	CMAD 的试验夹具	51
8.4	TRL 校准方法	51
8.5	钳式铁氧体 CMAD 的规范	53
8.6	使用频谱分析仪和跟踪发生器进行的 CMAD 性能(降低)核查	54
9	用于总辐射功率测量的混响室	56
9.1	概述	56
9.2	腔体	56
10	用于辐射骚扰抗扰度测量的 TEM 小室	58
附录 A (规范性)	天线参数	59
附录 B		64
附录 C (规范性)	用于在 9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的大环天线系统	65
附录 D (规范性)	频率范围 30 MHz~1 000 MHz 的 OATS 的详细结构(见第 6 章)	73
附录 E		76
附录 F (资料性)	± 4 dB 场地可接受准则的基础(见第 6 章)	77
附录 G (资料性)	RSM 对 COMTS 场地确认时的不确定度预算示例(见 6.6)	79
参考文献		82

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

GB/T(Z) 6113《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范》为电磁兼容基础标准。

本文件是 GB/T(Z) 6113 的第 1-4 部分。GB/T(Z) 6113 已经发布了以下部分：

第 1 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备

- 第 1-1 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备；
- 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；
- 第 1-3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 骚扰功率；
- 第 1-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地；
- 第 1-5 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 5 MHz～18 GHz 天线校准场地和参考试验场地；
- 第 1-6 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 EMC 天线校准。

第 2 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法

- 第 2-1 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量；
- 第 2-2 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 骚扰功率测量；
- 第 2-3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量；
- 第 2-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 抗扰度测量；
- 第 2-5 部分：大型设备骚扰发射现场测量。

第 3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量技术报告

- 第 3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量技术报告。

第 4 部分：不确定度、统计学和限值建模

- 第 4-1 部分：不确定度、统计学和限值建模 标准化 EMC 试验的不确定度；
- 第 4-2 部分：不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度；
- 第 4-3 部分：不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑；
- 第 4-4 部分：不确定度、统计学和限值建模 抱怨的统计和限值的计算模型；
- 第 4-5 部分：不确定度、统计学和限值建模 替换试验方法的使用条件。

本文件代替 GB/T 6113.104—2016《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地》，与 GB/T 6113.104—2016 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了“受试设备空间”等 3 个术语，删除了术语“自由空间天线系数”（见 3.1，2016 年版的 3.1）；
- 更改了天线对称的测量方法（见 4.5.4，2016 年版的 4.5.4）；
- 更改了交叉极化的测量方法（见 4.5.5，2016 年版的 4.5.5）；
- 增加了 1 GHz～18 GHz 接收天线的波瓣图要求（见 4.6.2.2 和 4.6.2.3）；
- 增加了测量距离 5 m 的 NSA 值（见 6.5.1）；
- 更改了附录 A 的有关内容（见附录 A，2016 年版的附录 A）；
- 删除了附录 B 的正文内容（见 2016 年版的附录 B）。

本文件使用翻译法等同采用 CISPR 16-1-4:2019《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范

第 1-4 部分:辐射骚扰测量用天线和试验场地》。

与本文件中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容(IEC 60050(161):1990+A1:1997+A2:1998, IDT);
- GB/T 6113.101—2021 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(CISPR 16-1-1:2019, IDT);
- GB/T 6113.105—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-5 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 5 MHz~18 GHz 天线校准场地和参考试验场地(CISPR 16-1-5:2014, IDT);
- GB/T 6113.106—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-6 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 EMC 天线校准(CISPR 16-1-6:2014, IDT);
- GB/Z 6113.3—2019 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告(CISPR/TR 16-3:2010+A1:2012+A2:2015, IDT);
- GB/T 6113.402—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(CISPR 16-4-2:2014, IDT)。

本文件做了下列编辑性修改:

- 国际标准术语 3.1.14, 根据给出的表达式, 将 S 参数明确为传输线参数 S_{21} 。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本标准起草单位:中国电子技术标准化研究院、北京大泽科技有限公司、芮锋射频技术(上海)有限公司、厦门海诺达科学仪器有限公司、北京邮电大学、中国计量科学研究院、东南大学、合肥产品质量监督检验研究院、奥尔托射频科技(上海)有限公司、广州赛宝计量检测中心服务有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司、中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、国家无线电监测中心检测中心、大连产品质量检验检测研究院有限公司、福建省计量科学研究院、嘉善法兰克尼亚电磁兼容有限公司、南京纳特通信电子有限公司、中家院(北京)检测认证有限公司、深圳市北测检测技术有限公司、北京理工大学、中国电力科学研究院有限公司、江苏省计量科学研究院、广州众测电子科技有限公司、广东中认华南检测技术有限公司、北京无线电计量测试研究所、广州市诚臻电子科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、浙江诺益科技有限公司、上海电器设备检测所有限公司、江苏省电子信息产品质量监督检验研究院、深圳东昇射频技术有限公司、深圳赫优科技有限公司、中国信息通信研究院、北京尊冠科技有限公司。

本标准主要起草人:崔强、李莉、谢鸣、叶畅、周忠元、孟东林、付君、杨新春、李立嘉、黄敏昌、刘潇、陈彦、黄雪梅、王林东、郭雨、徐澹、肖娜丽、周磊、商高平、王曦、石磊、李光华、翟丽、李妮、姜国凯、李保婷、杨楠、杨春荣、卢炎汉、梁吉明、马蔚宇、李楠、郑益民、张峰衍、褚瑞、陈嘉声、张进库、万长勇、臧家伟、徐春锋。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- 2008 年首次发布为 GB/T 6113.104—2008, 2016 年第一次修订;
- 本次为第二次修订。

引 言

为规范电磁兼容测量、考虑测量不确定度和给出与测量相关的背景信息,以及为电磁兼容产品类标准的制修订奠定技术基础,GB/T(Z) 6113 规定了无线电骚扰和抗扰度测量设备、测量方法、测量不确定度技术要求以及计算限值的模型,其由四部分组成,第 1 部分为无线电骚扰和抗扰度测量设备规范;第 2 部分为无线电骚扰和抗扰度测量方法规范;第 3 部分为无线电骚扰和抗扰度测量技术报告;第 4 部分为不确定度、统计学和限值建模。

第 1 部分又分为 6 个部分。

- 第 1-1 部分:测量设备。目的在于规定测量无线电骚扰的测量设备和断续骚扰测量的专用设备的性能和特性要求。
- 第 1-2 部分:传导骚扰测量的耦合装置。目的在于规定射频骚扰电压和骚扰电流测量用辅助设备的特性和性能要求。
- 第 1-3 部分:辅助设备 骚扰功率。目的在于规定无线电骚扰功率测量用吸收钳的特性和校准方法要求。
- 第 1-4 部分:辐射骚扰测量用天线和试验场地。目的在于规定辐射骚扰测量天线和试验场地的特性和性能要求。
- 第 1-5 部分:5 MHz~18 GHz 天线校准场地和参考试验场地。目的在于规定天线校准场地和参考试验场地的要求。
- 第 1-6 部分:EMC 天线校准。目的在于规定辐射骚扰测量天线的天线系数的校准程序和相关要求。

无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

第 1-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地

1 范围

本文件规定了辐射骚扰测量设备的特性和性能要求,适用的频率范围为 9 kHz~18 GHz。本文件包括测量天线和试验场地规范。

注:依据 IEC 导则 107,CISPR 16-1-4 为 IEC 所属产品委员会使用的基础电磁兼容(EMC)标准。正如 IEC 导则 107 所述,产品委员会有责任决定 EMC 标准的适用性。CISPR 及其分技术委员会(对应于国内的 SAC/TC79 技术委员会及其分技术委员会)与这些产品委员会在评估其特定产品的特定试验的价值展开合作。上述产品委员会对应于国内相关的产品技术委员会。

本文件的要求适用于测量设备的 CISPR 指示范围内的辐射骚扰的所有频率和所有电平。

辐射骚扰的测量方法在 GB/T 6113.203 做了规定。有关无线电骚扰的更多信息在 CISPR 16 的第 3 部分中给出。不确定度、统计学和限值建模在 CISPR 16 的第 4 部分中给出。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 6113.203—2020 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量(CISPR16-2-3:2016,IDT)

CISPR 16-1-1 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)

CISPR 16-1-5:2014+A1:2016 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-5 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 5 MHz~18 GHz 天线校准场地和参考试验场地(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus—Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz)

CISPR 16-1-6:2014+A1:2017 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-6 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 EMC 天线校准(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus—EMC antenna calibration)

CISPR/TR 16-3 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 3 部分:CISPR 技术报告(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 3:CISPR technical reports)

CISPR 16-4-2 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(Specification for radio disturbance and immunity measuring

apparatus and methods—Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling—Measurement instrumentation uncertainty)

IEC 60050-161 国际电工词汇 第 161 章: 电磁兼容 (International Electrotechnical Vocabulary—Chapter 161: Electromagnetic compatibility)

3 术语和定义、缩略语

CISPR 16-1-1、CISPR 16-1-5 和 IEC 60050-161 界定的以及下列术语、定义和缩略语适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

天线 antenna

把馈线的导行电磁能量转换成空间中辐射波的转换器,反之亦然。

注: 本文件中,对于正常工作巴伦是其必备部分的天线,术语“天线”也包括巴伦。

3.1.2

天线系数 antenna factor; AF

F_a

在自由空间测得的机械视轴(即天线的主轴)方向上入射的平面波的电场强度与天线所连规定负载上产生的电压的比值。

注 1: 缩略语 AF 作为通用术语表示天线系数,而符号 F_a 为自由空间主轴天线系数。AF 与天线接入的负载阻抗(通常为 $50\ \Omega$)有关,且与频率有关。对于双锥天线,这种阻抗的最大值可能为 $200\ \Omega$ 。对于没有巴伦的天线,这种阻抗等于负载阻抗,典型值为 $50\ \Omega$ 。AF 受天线与接地平板的相互耦合影响,并与方向性有关。更详细的信息见 CISPR 16-1-6:2014 中的 4.2 和天线系数的定义。

注 2: 天线系数的物理单位为 m^{-1} ,通常表示为 $[\text{dB}(\text{m}^{-1})]$ 。在辐射骚扰测量中,如果已知 F_a 以及与天线相连的测量接收机上的电压读数 V ,则可通过下式计算得到入射场的场强 E :

$$E = V + F_a$$

式中: E 的单位为 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$, V 的单位为 $\text{dB}(\mu\text{V})$, F_a 的单位为 $\text{dB}(\text{m}^{-1})$ 。

3.1.3

天线对参考场地衰减 antenna pair reference site attenuation

A_{APR}

一对天线在理想开阔试验场地上相距规定距离时水平极化场地衰减和垂直极化场地衰减测量结果的集合,即一副天线架设在接地平板上固定高度,另一副天线在规定的高度范围内垂直扫描时测量到的最小插入损耗。

注 1: 评估使用参考场地法(RSM)进行场地确认测量的不确定度时, A_{APR} 为影响量。

注 2: 把 A_{APR} 的测量结果和符合性试验场地(COMTS)对应的场地衰减测量相比较,可对 COMTS 的性能做出评估。

3.1.4

天线参考点 antenna reference point

用于测量到受试设备(EUT)或另一副天线的距离的起始点。

注: 天线参考点由制造商或校准实验室在对数周期偶极子阵列(LPDA)天线上做出标记。

3.1.5

巴伦 balun

用于传输线之间从平衡到不平衡或者从不平衡到平衡转换的装置。

注：例如，使用巴伦把平衡的天线单元耦合到不平衡的馈线（例如同轴电缆）。巴伦可具有不同于 1 : 1 的固有阻抗变换。

3.1.6

校准试验场地 calibration test site; CALTS

具有金属接地平板、严格规定了水平极化电场的场地衰减性能的开阔试验场地。

注：CALTS 用于确定天线在自由空间中的天线系数。

3.1.7

共模吸收装置 common mode absorption device; CMAD

辐射骚扰测量中，施加在离开试验空间后的电缆上以减小符合性不确定度的装置。

3.1.8

符合性试验场地 compliance test site; COMTS

为与符合性限值相比较，保证受试设备（EUT）骚扰场强测量结果有效且可复现的环境。

3.1.9

交叉极化响应 cross-polar response; XPR

天线在线极化电磁场中旋转时对交叉极化场抑制的度量，该电磁场在受试天线的口径内相位和幅值均相同。

3.1.10

受试设备空间 EUT volume

EUT 的边界直径和高度定义的圆柱体，其包括实际 EUT 的所有部分、电缆支架、1.6 m 长的电缆（30 MHz~1 GHz）或 0.3 m 长的电缆（1 GHz 及其以上）。

注 1：试验空间是限制 EUT 空间的判据之一（见 GB/T 6113.203）。

注 2：EUT 空间直径为 D （边界直径），高度为 h 。

3.1.11

全电波暗室 fully-anechoic room; FAR

六个内表面装有射频吸波材料（即射频吸收体）的屏蔽室，该吸波材料能够吸收所关注频率范围内的电磁能量。

注：用于一般的辐射骚扰测量时，FAR 宜建在屏蔽室内部。

3.1.12

复合天线 hybrid antenna

由线单元（即振子）的对数周期偶极子阵列（LPDA）部分和宽带偶极子部分组成的天线。

注 1：LPDA 部分的最长线单元通常在 200 MHz 附近谐振，在开路端（即后端）延长主轴以给相连的宽带偶极子（例如，双锥天线或蝶形天线）部分馈电。在 30 MHz~200 MHz 频段范围内，宽带偶极子天线具有与双锥天线相似的性能，尤其是其天线系数（AF）随着高度变化。

注 2：通常要在主轴的开路端（即后端）使用共模扼流圈以尽可能地减小同轴电缆外导体上的寄生（非期望的）射频电流流入测量接收机。

3.1.13

理想开阔试验场地 ideal open-area test site

具有理想平坦的无限大的理想导电接地平板，且除了接地平板外无其他反射物体的开阔试验场地。

注：理想 OATS 是从理论上构建的一种试验场地，用于定义具有接地平板试验场地的被测量 A_{APR} 和计算理论归一化场地衰减 A_N 。

3.1.14

插入损耗 insertion loss

装置插入传输线产生的损耗，表示为受试装置插入前后插入点电压的比值。

注：插入损耗等于传输线参数 S_{21} 的倒数，即 $|1/S_{21}|$ 。

3.1.15

不确定度小的天线 low-uncertainty antenna

满足本文件平衡和交叉极化性能要求且性能稳定的双锥天线或者对数周期偶极子阵列天线,在空间的规定点测量场强时,天线系数的不确定度小于 0.5 dB。

注:更详细的信息见 A.2.3。

3.1.16

机械视轴 mechanical boresight

视轴方向 boresight direction

视轴 boresight

天线的几何特性所确定的主瓣的方向。

注:对于电磁兼容(EMC)天线,最大主瓣方向通常为:a)LPDA 天线的机械纵向轴线方向;b)垂直于单极天线、偶极子天线和双锥天线单元的方向;c)垂直于喇叭天线前口面的方向。在这些例子中,垂直线与天线的中心重合。

3.1.17

零点 null

接收天线处直射信号和地面反射信号的矢量和所得到的信号电平的最小值,该最小值远小于这些信号同相时的信号电平矢量和。

注 1:零点深度可由直射信号和地面反射信号的同相矢量和测得。当天线位于接地平板上方一定高度,使得直射信号和地面发射信号反相时,接收信号将出现零点,在电场强度测量时这会导致较大的误差。零点的相位差范围为 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 。 90° 时的零点深度近似为 6 dB。此深度是与扫频信号响应(或一副天线在固定频率进行高度扫描)中的最近的最大信号相比较的。

注 2:对于某些双脊波导喇叭(DRH)天线,视轴上信号电平的下降有时也被称为零点。本定义不适用于这样的下降。

注 3:由于在传播媒质中的某些位置,产生驻波的两条波的规定场的矢量和为最小值,因此 IEC 60050-726:1982, 726-02-07 定义了“驻波的最小值”,其同义词为(驻波)节点。

3.1.18

准自由空间试验场地 quasi free-space test site

用于辐射骚扰测量的设施,旨在实现自由空间的条件。

注:要尽可能地减小来自环境的无用反射以满足辐射骚扰测量程序所考虑的场地符合性判据。

3.1.19

参考试验场地 reference test site; REFTS

具有金属接地平板且严格规定了水平极化和垂直极化电场的场地衰减性能的开阔试验场地。

注:REFTS 的场地衰减测量与符合性试验场地的对应场地衰减测量进行比较,目的是评价符合性试验场地的性能。

3.1.20

反射系数 reflection coefficient

反射波与入射波同一物理量之比。

注:电压反射系数定义为反射波的复值电压和入射波的复值电压之比。电压反射系数等于散射参数 S_{11} 。

3.1.21

谐振偶极子天线 resonant dipole antenna

调谐偶极子天线 tuned dipole antenna

由两根相同长度的共线直导体构成的线天线,两根导体端对端放置,由一小间隙分隔形成平衡馈电。每根导体的长度近似为 $1/4$ 波长,从而使得当偶极子处于自由空间时,在特定的频率上,其间隙两端测得的天线的输入阻抗的电抗为零。

3.1.22

散射参数(S 参数) scattering parameters(S-parameters)

用于描述插入到传输线的两端口网络性能的 4 个参数的集合。

3.1.23

半电波暗室 semi-anechoic chamber; SAC

6 个内表面中的 5 面安装有能够吸收所关注频率范围内的电磁能量的吸波材料(即射频吸收体)、底部的水平面铺设设有 OATS 试验布置中所使用的导电接地平板的屏蔽室。

3.1.24

短路-开路-负载-直通校准法 short-open-load-through calibration method; SOLT

直通-开路-短路-匹配校准法 through-open-short-match calibration method; TOSM

使用 3 个已知阻抗的标准套件(短路、开路和匹配/负载)和一个传输标准套件(直通)对矢量网络分析仪进行校准的校准方法。

注: SOLT 法被广泛使用,该方法所必需使用的特性阻抗为 $50\ \Omega$ 的校准套件是可方便得到的。完整的两端口误差模型包括正向和反向各 6 个误差项,总共 12 个独立的误差项,校准时要求进行 12 次参考测量。

3.1.25

场地衰减 site attenuation; SA

A_s

当一副天线在规定的高度范围内垂直移动,另一副天线架设在固定高度时,位于试验场地上的这两副极化匹配的天线之间测得的最小场地插入损耗。

注:术语“场地插入损耗”(见 3.1.26)和“场地衰减”实际上描述的是相同的测量量,但术语 SA 在本文件是指当一副天线在接地平板上进行高度扫描时一对天线所测得的场地插入损耗(SIL)的最小值。

3.1.26

场地插入损耗 site insertion loss; SIL

A_i

当信号发生器的输出与测量接收机的输入之间通过电缆和衰减器直接进行的电气连接被试验场地规定位置上的发射天线和接收天线所代替时,两副极化匹配的天线之间的传输损耗。

3.1.27

试验空间 test volume

试验设施中放置 EUT 的确认空间。

注 1: 本文件中的确认程序用于确认试验空间。

注 2: 本文件中定义的试验空间的形状为圆柱体。在其他标准中已定义了不同形状的试验空间,例如 IEC 61000-4-20^[22] 中的立方体。

3.1.28

直通-反射-传输线(TRL)校准 through-reflect-line(TRL)calibration

使用 3 个已知阻抗的标准件(直通、反射和传输线)对矢量网络分析仪进行内部校准或者外部校准的校准方法。这种校准需要进行 4 次参考测量。

3.1.29

矢量网络分析仪 vector network analyzer; VNA

能够测量 4 个 S 参数 S_{11} , S_{12} , S_{21} 和 S_{22} 复值的网络分析仪。

3.2 缩略语

除了 3.1 中给出的,下列缩略语也适用于本文件。

AUT 受试天线(antenna under test)

EUT 受试设备(equipment under test)
FSOATS 自由空间的开阔试验场地(free-space OATS)
HP 水平极化(horizontal polarization)
LLA 大环天线(large-loop antenna)
LLAS 大环天线系统(large-loop antenna system)
LPDA 对数周期偶极子阵列(log-periodic dipole array)
NSA 归一化场地衰减(normalized site attenuation)
OATS 开阔试验场地(open-area test site)
RF 射频(radio frequency)
RSM 参考场地法(reference site method)
RX 接收天线(receive antenna)
 S_{VSWR} 场地电压驻波比(site voltage standing wave ratio)
TX 发射天线(transmit antenna)
VP 垂直极化(vertical polarization)
VSWR 电压驻波比(voltage standing wave ratio)

4 无线电辐射骚扰测量用天线

4.1 概述

用于辐射骚扰测量的任何类型的、经过校准的天线都可用于场强测量,同时应考虑天线辐射方向图以及它们与所处环境之间的耦合。天线和插入在天线与测量接收机之间的电路不应影响测量接收机的总的特性产生显著影响。当天线与测量接收机相连时,测量系统应符合 CISPR 16-1-1 适用于所关注的频带的带宽要求。

天线应为线极化天线,并且极化方向应可以改变,以便能够测量入射辐射场的所有极化分量。天线中心距地面或 FAR 中吸波材料的高度依据特定的试验程序需是可调节的。

当使用满足本条要求的天线和满足 CISPR 16-1-1 的测量接收机测量正弦波的均匀场时,场强测量准确度应优于 ± 3 dB。

注:该要求不包括试验场地的影响。

有关宽带天线参数的额外信息见附录 A。

4.2 辐射骚扰测量的物理参数(被测量)

依据骚扰限值(单位:V/m)而进行的辐射骚扰测量的物理参数是用 EUT 所在空间某一规定点的电场强度来表示。更确切地说,对于在开阔试验场地(OATS)上或半电波暗室(SAC)中进行的 30 MHz~1 000 MHz 辐射骚扰测量,该被测量定义为距 EUT 的水平距离 10 m、EUT 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内旋转时,作为水平极化、垂直极化以及 1 m~4 m 扫描高度的函数的最大场强。

4.3 频率范围 9 kHz~150 kHz 的天线

4.3.1 概述

实验表明,在此频率范围内观测到的干扰现象是磁场分量起主要作用。

4.3.2 磁场天线

为了测量辐射的磁场分量,既可以使用电屏蔽的环天线,也可以使用铁氧体磁棒天线。环天线的大

小可被边长 60 cm 的正方形完全包围。

磁场强度单位为 $\mu\text{A}/\text{m}$, 用对数单位表示, $20\lg(\mu\text{A}/\text{m}) = \text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 。相应的骚扰限值用相同的单位表示。

注: 不论是近场还是远场, 即在所有的条件下, 辐射场的磁场分量的强度[单位: $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 或 $\mu\text{A}/\text{m}$] 都可以直接测量。然而, 许多场强测量接收机是以等效平面波电场强度[单位: $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$] 的形式来校准的, 也就是假设电场分量与磁场分量的比为 120π 或 $377\ \Omega$ 。

电场强度除以 $377\ \Omega$ 得到磁场强度 $H(\mu\text{A}/\text{m})$, 见式(1):

$$H(\mu\text{A}/\text{m}) = E(\mu\text{V}/\text{m})/377\ \Omega \quad \dots\dots\dots(1)$$

以 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ 为单位的电场强度减去 51.5 dB 得到以 $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 为单位的磁场强度, 见式(2):

$$H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = E[\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})] - 51.5\ \text{dB}(\Omega) \quad \dots\dots\dots(2)$$

用于上述转换关系式中的阻抗 $Z = 377\ \Omega$, $20\lg Z = 51.5\ \text{dB}$, 为一常数。此常数源于场强测量设备以 $\mu\text{V}/\text{m}$ 或 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ 为单位指示磁场时所用的修正系数。

4.3.3 环天线的屏蔽

屏蔽得不够理想的环天线会对电场产生响应。对环天线的电场响应的鉴别应通过在均匀场旋转环平面使其平行于电场矢量的方法来评估。环平面平行于磁通量时测得的响应比环平面垂直于磁通量时测得的响应至少低 20 dB。

4.4 频率范围 150 kHz~30 MHz 的天线

4.4.1 电场天线

测量辐射的电场分量时, 对称或不对称的天线都可以使用。当使用不对称天线时, 测量仪表示电场对垂直杆天线的感应。测量结果中应注明所使用天线的类型。

CISPR 16-1-6 给出了 1 m 长单极天线(杆天线)工作特性的计算和其匹配网络的特性的有关信息。CISPR 16-1-6 表明, 当单极天线的长度大于 $1/8$ 波长时, 等效电容替代法(ECSM)有着较大的不确定度。

电场强度的单位为 $\mu\text{V}/\text{m}$, 采用对数单位为 $20\lg(\mu\text{V}/\text{m}) = \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$, 有关的骚扰限值也应采用相同的单位。

4.4.2 磁场天线

测量辐射的磁场分量, 应使用 4.3.2 中所描述的电屏蔽环天线。

注: 在频率范围 1.6 MHz~30 MHz 使用准峰值检波时, 调谐的电对称环天线能够测量低至 $-51.5\ \text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 的磁场强度, 也就是说能够测量的最小磁场强度要低于使用非调谐的电屏蔽环天线(其噪声电平比电对称环天线大约高 25 dB)。

4.4.3 天线的对称和交叉极化性能

如果使用对称的电场天线, 天线的交叉极化性能应满足 4.5.4 的要求。如果使用对称的磁场天线, 则应满足 4.3.3 的要求。

4.5 频率范围 30 MHz~1 000 MHz 的天线

4.5.1 概述

在 30 MHz~1 000 MHz 频率范围内, 测量的是电场, 因此不包括磁场天线。天线应为设计用来测量电场的偶极子类的天线, 应使用自由空间的天线系数。天线类型包括:

- a) 调谐偶极子天线, 其振子为直杆或锥形;

- b) 偶极子阵列,例如对数周期偶极子阵列(LPDA)天线,由一系列交错的直杆振子组成;
- c) 复合天线。

4.5.2 存在不符合电场限值的可疑情况时不确定度小的天线的使用

为了获得较小的测量不确定度,建议优先使用典型的双锥天线或 LPDA 天线测量电场值,特别是其优于复合天线。附录 A 规定了典型的双锥天线和 LPDA 天线,但所有天线都应在校准之后才能使用。

注 1: 在 30 MHz~250 MHz 使用双锥天线、在 250 MHz~1 000 MHz 使用 LPDA 天线能够减小测量不确定度。此外,可以使用 200 MHz 作为过渡频率,但 LPDA 天线相位中心的变化引入的测量不确定度较大,需包含在辐射骚扰测量不确定度评估报告中。

注 2: EUT 辐射骚扰的测量不确定度取决于很多不同的影响因素,例如,场地的质量、天线系数的不确定度、天线类型和测量接收机的特性。规定不确定度小的天线的原因是限制其他的天线影响量对不确定度的影响,例如,与接地平板互耦合的影响,与天线高度扫描相关的辐射方向图和相位中心位置的变化的影响。检验这些影响量的影响程度的方法是比较过渡频率处两种天线的电场测量值。两者之间的差值需在 ± 1 dB 之内。

4.5.3 天线特性

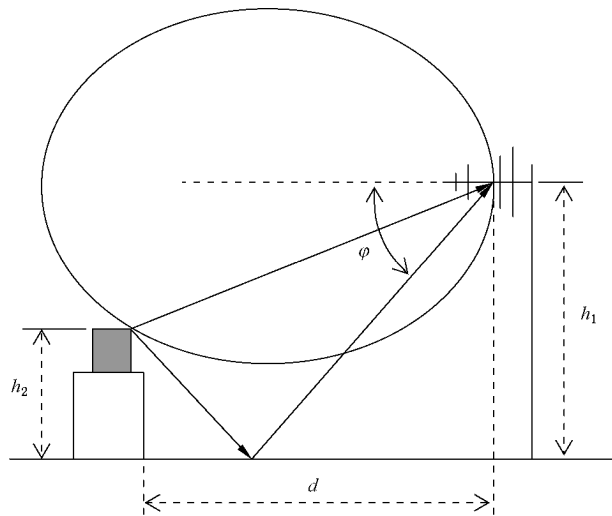
频率范围为 300 MHz~1 000 MHz 时,简单偶极子天线的灵敏度较低,可能要使用更为复杂的天线。这种天线应具有如下特性:

- a) 天线应为线性极化,应采用 4.5.5 的交叉极化测量程序进行评估。
- b) 对称的偶极子天线,例如调谐偶极子天线和双锥天线,应具有已确认的巴伦性能,应采用 4.5.4 规定的对称试验程序进行评估。该要求也适用于 200 MHz 以下的复合天线。
- c) 与天线馈线相连的天线的回波损耗不应小于 10 dB。为了满足本要求,可能需要在馈线电缆上连接匹配衰减器。
- d) 应给出天线系数(AF)以满足 4.1 的要求。

天线方向性的考虑:对于以下的天线特性描述,假设试验场地具有接地平板。当 EUT 到天线的直射波和反射波两者或者之一不能进入到天线辐射方向图主瓣峰值位置时,则接收到的信号幅度将会减小。该峰值通常出现在天线的视轴方向上。这种幅度的减小被认为是辐射骚扰测量中的误差;其引入的测量不确定度允差基于其波瓣宽度 2φ (见图 1)。

确保所引入的误差不大于+1 dB 的条件如下:10 m 场地为条件 1);3 m 场地为条件 2);而条件 3)为替换条件,基于天线的增益,其目的是为了避开复杂的辐射方向图。

辐射骚扰测量在天线水平极化和垂直极化两个方向上进行,如果选择辐射方向图测量仅在一个平面进行,应选择更窄的波瓣方向,如下所述:当天线用于水平极化方向测量时,天线的波瓣图应在水平方向验证。



注：图中量的定义见式(4)。

图 1 3 m 试验场地上 EUT 辐射的直射波和地面反射波(距离天线视轴的角度 φ 为波瓣宽度的一半)到达 LPDA 天线的示意图

- 1) 对于 10 m OATS 或 SAC, 天线的视轴平行于接地平板时, 直射波方向上天线的响应与视轴上的幅值几乎相等。当反射波方向上天线的响应比天线视轴上的响应低不到 2 dB 时, 骚扰测量中方向性分量的不确定度将小于 +1 dB。为确保这种条件, 在与天线最大增益相差 2 dB 的范围内, 测量天线垂直方向上的总波瓣宽度 2φ 应满足以下条件, 见式(3):

$$\varphi > \tan^{-1}[(h_1 + h_2)/d] \quad \dots\dots\dots (3)$$

- 2) 对于尺寸小于 10 m 的场地, 典型为 3 m, 在与天线最大增益相差 1 dB 的范围内, 测量天线垂直方向上的总波瓣宽度 2φ 应满足以下条件, 见式(4):

$$2\varphi > \left(\tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left(\tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

h_1 ——测量天线高度;

h_2 ——EUT 高度;

d ——EUT 与测量天线相位中心之间的水平距离。

如果没有采用向地面倾斜的方法来减小相关的不确定度, 则应通过辐射方向图的计算结果来修正所减小的幅度, 或作为方向性的不确定度的估值。不确定度评估的例子见 CISPR 16-4-2。

注 1: 假设归一化到视轴(主瓣峰值)上的电场辐射方向图得到的是偏离天线视轴一定角度的直射波 E_D 和反射波 E_R 的电场。与单一的直射波和反射波的电场幅值相比, 误差为 $20\lg[2/(E_D + E_R)]$ (单位: dB)。

注 2: 偏离天线视轴一定角度的方向性的减小, 会造成信号强度的减小, 此为系统误差, 因此能进行修正。当根据频率和极化使用辐射方向图进行修正时, 则可减小发射信号强度的测量不确定度。

- 3) 对用于辐射骚扰试验的波瓣宽度较宽的天线类型, 例如双锥天线, LPDA 天线和复合天线, 波瓣宽度与天线方向性成反比。作为上述条件 1) 和条件 2) 基于波瓣宽度判据的替换条件, 是规定天线的最大增益, 从而引用增益的通用不确定度允差用于骚扰测量结果不确定度预评估中的方向性分量。根据给定天线频率范围内最窄的波瓣宽度, CISPR 16-4-2 给出了方向性分量的通用不确定度。双锥天线的最大各向同性天线增益为 2 dB, LPDA 天线和复合天线的最大各向同性天线增益为 8 dB。对于 V 形 LPDA 天线, 其 H 面的波瓣宽度等于 E 面的波瓣宽度, 允许的最大各向同性增益为 9 dB。

4.5.4 天线的对称

4.5.4.1 概述

在辐射骚扰测量中,与接收天线相连的电缆(天线电缆)上存在共模(CM)电流。如果巴伦不是理想的平衡,则该共模电流会产生可被接收天线接收的电磁场,因而影响辐射骚扰测量结果。

天线电缆上产生共模电流的主要因素为:

- 如果 EUT 产生的电场具有平行于天线电缆的分量;
- 接收天线巴伦的非理想特性将差模(DM)天线信号(有用信号)转换成共模信号。

一般情况下,LPDA 天线不存在明显的 DM/CM(DM 到 CM)转换,因此,下述核查适用于整个工作频率范围内的偶极子天线和双锥天线,以及宽带偶极子部分工作频率范围内(大多数情况为 30 MHz~200 MHz)的复合天线。

4.5.4.2 巴伦的差模/共模转换的核查

以下描述了两个电压 V_1 和 V_2 的测量方法。用相同单位(例如, μV)表示的这些电压的比值,即 DM/CM 转换的度量(也称为巴伦的不平衡、巴伦的对称或天线的对称)。

- 将接收受试天线(AUT)设置为垂直极化,并使其中心距离 OATS 或 SAC 的接地平板 1.0 m。天线低端距离接地平板应至少为 0.25 m。接收天线的连接电缆在天线最后一个被激励单元后面水平走线 $1.5\text{ m} \pm 0.1\text{ m}$,然后在距离接地平板 1.0 m 的高度垂直落下。
- 对于接收天线不对称的标准表征,将第二副天线(发射天线)放置在水平方向上,距 AUT 的中心 10 m,使其处于垂直极化。发射天线的中心距离接地平板 1.0 m,其低端距离接地平板应至少为 0.25 m。发射天线应为线极化,在巴伦试验的频率范围内其交叉极化抑制需大于 20 dB。对于 200 MHz 以上的频率范围,应变化发射天线高度以避免 SIL 响应为零。也可以在更短的距离(例如 3 m 和 5 m)进行测量,以确定在这些距离时巴伦不平衡的不确定度贡献。
- 将发射天线与信号源(如跟踪信号发生器或网络分析仪的源输出)连接。信号源的输出电平设置使得在所关注的频率范围内两副天线垂直极化时接收机的信噪比为 34 dB(平均值检波时为 17 dB)或更大。
- 在所关注的频率范围内记录接收机的读数 V_1 。
- 在不改变任何配置,尤其是接收天线电缆、信号源设置的条件下,将接收天线沿测量轴旋转 180° 。
- 在所关注的频率范围内记录接收机的读数 V_2 。
- 如果 $|20\lg(V_1/V_2)| < 1\text{ dB}$,则 DM/CM 转换足够小。

注 1: 对于辐射骚扰测量,如果 DM/CM 转换不满足要求,可以在天线电缆上加铁氧体环以减小 DM/CM 转换。EMC 实验室可以在天线电缆上放置 4 个铁氧体环,间距大约为 20 cm,第一个铁氧体环放置在巴伦输入端口的 10 cm 之内进行重复测量。如果使用这些铁氧体环后满足了要求,那么在实际的辐射骚扰测量中也需放置。同样,电缆的影响也可以在下降到接地平板前通过在天线后面延长原有水平走线数米的办法来减小。

注 2: 如果接收天线在 FAR 内使用,那么 DM/CM 转换的核查也需在 FAR 中进行,接收天线需位于通常使用的位置,发射天线至少距离其 3 m。天线最好位于 FAR 的中心,天线电缆的垂直部分和吸波材料的顶端之间的距离至少为 1 m。

注 3: 测量场地及其导电接地平板(OATS 或 SAC),都需满足各自的场地确认要求。

注 4: 在实际的垂直极化辐射骚扰测量中,从接收天线后端引出的电缆的水平延伸距离需至少保持 1.5 m。

注 5: 试验布置通常不需要严格规定,因为不平衡的影响大部分是由于天线与平行天线振子的天线电缆相互影响造成的。在 OATS 或 FAR 内一般的 EMC 测量布置中,由入射到接收天线的场均匀性导致的影响微乎其微。

注 6: 对于接收电缆接头安装在侧面(与天线杆成 90°)的巴伦需使用直角连接器以减低电缆的变形。

注 7: 巴伦 DM/CM 测量结果的不确定度仅受接收机非线性影响,因为在 V_1 和 V_2 测量期间其他均保持不变。在参考示值 V_1 的 ± 1 dB 范围内,如果非线性的影响小于 0.1 dB 则足以满足 1 dB 判据要求。

4.5.5 天线的交叉极化性能

当天线置于线极化的电磁场中时,天线与场交叉极化时的端电压应至少比共极化时的端电压低 20 dB。这种要求适用于 30 MHz~18 GHz 的整个频率范围。实际上,某些偶极子的两个振子以梯次排列的 LPDA 天线不能满足这种要求,它们本质上会产生交叉极化响应(XPR)。

LPDA 天线所进行的测量主要在 200 MHz 以上。为了达到自由空间条件,可以使用高质量的 FAR 或使用户外地面上足够高的天线塔。场地的有关特性见 6.3.2 和 CISPR 16-1-5:2014 的第 6 章。在 AUT 的有效长度上应建立均匀场。AUT 的中心与发射天线之间的距离应大于 1 个波长。对于 LPDA 天线,间距是到其中心标记。当最低频率为 200 MHz 时,在整个频率范围内推荐 1.5 m 的固定间距。

发射天线和 AUT 设置为垂直极化,记录整个频率范围内的信号强度。将发射天线旋转 90° ,记录信号强度与共极化读数的差值。

注: 需要一个高质量的试验场地以在 AUT 的有效面内建立均匀场。交叉极化的鉴别可通过下述方法来验证: 在一对喇叭天线或一对一端开口的波导天线之间传输一平面波,并测得由场地误差和喇叭天线固有的交叉极化的性能所产生的对水平分量的抑制超过 30 dB。如果场地误差非常低且喇叭天线具有相同的性能,那么一个喇叭天线的交叉极化性能需比一对喇叭天线的组合交叉极化耦合低大约 6 dB。例如,如果组合的交叉极化电平为 30 dB,则单个试验天线的电平为 36 dB。场地布置的判据要求(包括天线间距和场地性能)是实现 30 dB 的组合交叉极化电平。一对喇叭天线布置为水平极化,其口面之间的距离为 1.5 m。在关注的频率范围内记录场地插入损耗(SIL)。将一副天线旋转 90° ,使其为垂直极化。SIL 变化至少 30 dB 将提供可接受的测量不确定度。对于 1 GHz 以下的频率,可以使用 V 型 LPDA 天线代替喇叭天线,以证明场地的适用性。也可以使用偶极子天线或双锥天线,但由于它们均匀的 H 面方向性图,则需要更高的天线高度。

当干扰信号比有用信号低 20 dB 时,对有用信号产生的最大误差为 ± 0.9 dB。当交叉极化信号与共极化信号同相时会产生最大的误差。当 LPDA 的 XPR 不足 20 dB 时,操作者应计算不确定度并在结果中声明。例如 14 dB 的交叉极化响应意味着最大误差为 $+1.6$ dB~ -1.9 dB,当计算标准不确定度时应使用较大的值并假设为矩形分布。

为了将 0 dB 信号与 -14 dB 信号相加,首先应将电压的分贝值除以 20,再取反对数值。然后将较小的信号与单位量信号相加,取对数后再乘以 20,计算结果将得到正的误差分贝值;重复上述过程但将较小的信号从单位量信号中减去,将得到负的误差分贝值。

为了计算辐射骚扰测量的不确定度,如果在一个极化方向上测得的信号电平超过与之垂直的极化方向上的被测信号 6 dB 或更多,则只有 14 dB 交叉极化响应的 LPDA 被认为满足规定的 20 dB,如果垂直极化和水平极化信号电平之差小于 6 dB,该差值与 XPR 之和小于 20 dB,那么应计算附加的不确定度。

XPR 测量结果的测量不确定度的考虑见参考文献[21],其给出了足以满足测量中 20 dB XPR 要求的 AUT XPR 的示例。

4.6 频率范围 1 GHz~18 GHz 的天线

4.6.1 概述

1 GHz 以上的辐射骚扰测量应使用经过校准的线极化天线,包括 LPDA 天线、双脊波导喇叭天线和标准增益喇叭天线。使用的任何天线的方向性图的“波束”或主瓣应足够大以覆盖在测量距离上的 EUT。天线主瓣宽度定义为天线的 3 dB 波束宽度,在天线的文件中需给出确定这个参数的相关信息。对于喇叭天线,应满足以下条件,见式(5):

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda}$$

.....(5)

式中：

d ——测量距离,单位为米(m)；

D ——天线的最大口径,单位为米(m)；

λ ——测量频率上的自由空间波长,单位为米(m)。

4.5.5 中天线的 XPR 要求也同样适用于 1 GHz~18 GHz 的频率范围。

4.6.2 接收天线

4.6.2.1 概述

接收天线应是线极化的,场地确认使用的接收天线类型应与 EUT 骚扰测量所用的相同。

某些天线型号可能具有不同的版本,也可能具有不同的辐射方向图,建议用户对此进行确认。

注 1:“天线类型”是指天线的形状或种类,例如喇叭天线或 LPDA 天线。

注 2:“天线型号”是指制造商规定的型号编号。

注 3:“版本”是指制造商规定的特定天线型号编号的修订编号(如果适用)。

4.6.2.2 接收天线的辐射方向图

E 面和 H 面辐射方向图的测量应以天线视轴作为参考。被测量为天线方向图(单位为 dB),用图 2 所示的极坐标表示。辐射方向图需归一化到 0 dB。角度 0°应为机械视轴。

根据 CISPR 16-1-6:2014+A1:2016 的附录 I,应在天线的频率范围内以 500 MHz 或更小的步长记录每副天线的 E 面和 H 面辐射方向图。

制造商提供的型式试验结果(包括统计数据)也可用于证明接收天线满足辐射方向图的要求。应采取维护措施以确保天线寿命周期内的方向性图保持稳定。

注:通常,视轴方向是天线的最大辐射方向。然而,可能发生的是,辐射方向图具有两个最大辐射值,但在机械视轴方向上却不存在最大辐射值,如图 2 所示。

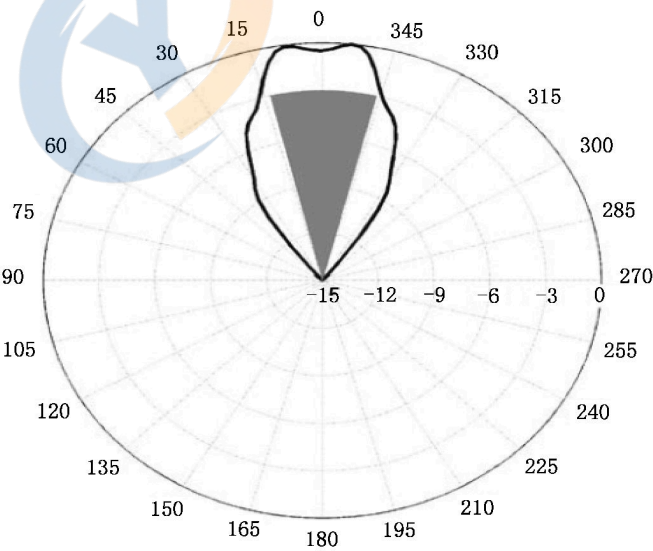


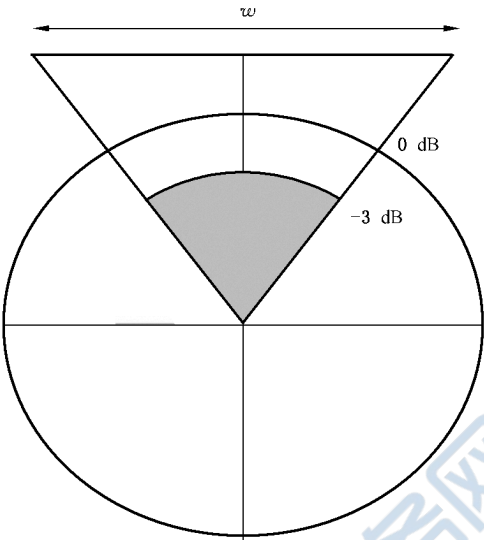
图 2 接收天线 E 面辐射方向图示例(对于 3 m 测量距离和 2 m 的 EUT 宽度对应图中限制的灰色阴影区域)

4.6.2.3 接收天线辐射方向图要求

图 3 和图 4 中的极坐标图中的灰色阴影区域由 EUT 的最大高度 h 、最大宽度 w 以及测量距离 d

定义。

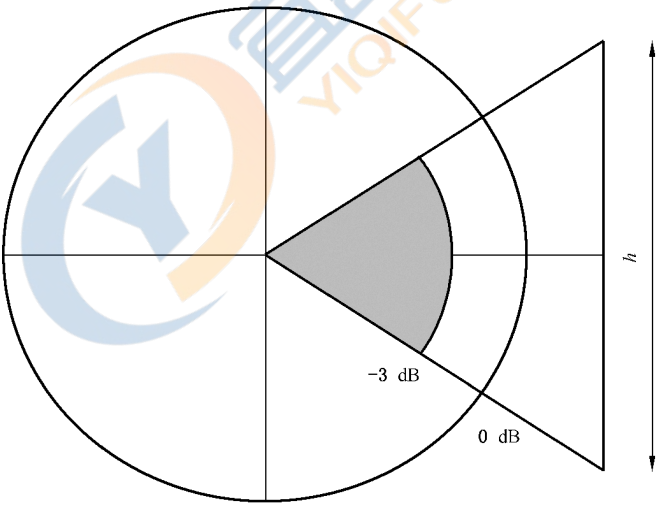
为了使接收天线的半功率波瓣宽度能充分地覆盖 EUT,其半功率波瓣宽度不应位于图 3 和图 4 所示的 E 面和 H 面方向图的阴影区域内。



标引序号说明:

w ——EUT 的最大宽度。

图 3 使用半功率波瓣宽度确定可测量的最大 EUT 宽度



标引序号说明:

h ——EUT 的最大高度。

图 4 使用半功率波瓣宽度确定可测量的最大 EUT 高度

4.7 特殊的天线配置——大环天线系统

在 9 kHz~30 MHz 频率范围内,单个 EUT 辐射的磁场分量可用大环天线系统(LLAS)来确定。在 LLAS 中,该辐射骚扰是以磁场在 LLAS 的每个环天线(LLA)中的感应电流形式来测量的。LLAS 测量单个 EUT 的磁场分量的感应电流。LLAS 允许室内测量。

LLAS 由 3 个相互垂直的、直径为 2 m 的大圆环天线构成,由非金属底座支撑,详细描述在附录 C

中给出。

EUT 位于 LLAS 的中心, EUT 的最大尺寸需满足 EUT 和每个 LLA 之间的距离至少为 0.2 m, 有关信号电缆的布置在附录 C 的 C.3 中的注 2 和图 C.6 中给出。电缆应一起走线, 在球面同一个 1/8 区域引出, 与 LLAS 任何一个环的距离不小于 0.4 m。

3 个相互垂直的 LLA 能够以规定的准确度来测量所有极化方向上的辐射场的骚扰, 而不用旋转 EUT 或改变 LLA 的方向。

3 个 LLA 中的每一个均应符合 C.4 给出的确认要求。

注: 只要 LLAS 环天线的直径 $D \leq 4$ m 且 EUT 与每个 LLA 之间的距离不小于 $0.1D$ (m), 也可以使用不同于标准直径 2 m 的 LLAS 环天线。非标准直径环天线的修正因子在 C.6 中给出。

5 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(9 kHz~30 MHz)

正在考虑中。

6 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(30 MHz~1 000 MHz)

6.1 概述

试验场地周围的环境需能够确保 EUT 的骚扰场强测量结果的有效性和可重复性。对于那些只能在使用现场运行的 EUT, 需另行规定(详见 GB/T 6113.203 中的现场测量)。

6.2 开阔试验场地

6.2.1 概述

开阔试验场地的特点是具有空旷的水平地势和接地平板。为了满足本文件的确认要求, 推荐使用金属接地平板。这种试验场地应避开建筑物、电力线、篱笆和树木等, 并应远离地下电缆、管道等, 除非它们是 EUT 供电和运行所必需的。附录 D 推荐了适用于 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的开阔试验场地的详细结构。6.6 和 6.7 给出了开阔试验场地的确认程序。附录 F 给出了试验场地的 ± 4 dB 可接受准则。

6.2.2 气候保护罩

如果试验场地全年使用, 则需要气候保护罩。气候保护罩需能够保护包括 EUT 和场强测量天线在内的整个试验场地, 或者是只保护 EUT。所用材料应具有射频透明性, 以避免造成不需要的反射和 EUT 辐射场强的衰减(见 6.3.1)。

气候保护罩的形状应易于排雪、冰或水。更详细的内容见附录 D。

6.2.3 无障碍区

为了得到一个开阔试验场地, 在 EUT 和场强测量天线之间需要一个无障碍区域。无障碍区域应远离较大的电磁场散射体, 并且应足够的大, 使得无障碍区域以外的散射不会对天线测量的场强产生影响。为了确定无障碍区域是否足够大, 应进行场地确认试验。

由于来自物体散射场强的幅度与许多因素(如, 物体的尺寸、到 EUT 的距离、EUT 所在的方位、物体的导电性和介电常数以及频率等)相关, 所以, 对所有 EUT 规定一个必需且充分适宜的无障碍区域是不切实际的。无障碍区域的尺寸和形状取决于测量距离及 EUT 是否可被旋转。如果试验场地配备了转台, 那么推荐使用椭圆形的无障碍区域, 接收天线和 EUT 分别处于椭圆的两个焦点上, 长轴的长

度为测量距离的 2 倍,短轴的长度为测量距离的 $\sqrt{3}$ 倍(见图 5)。

对于该椭圆形的无障碍区域,其周界上任何物体的不期望反射波的路径距离均为两个焦点之间直射波路径距离的 2 倍。如果放置在转台上的 EUT 较大,那么就要扩展无障碍区域的周界,以保证从 EUT 周界到障碍物之间的净尺寸。

如果试验场地没有配备转台,也就是说,EUT 是固定不动的,那么推荐使用圆形的无障碍区域。EUT 的周界到试验场地的周界的径向距离为测量距离的 1.5 倍(见图 6)。此时,测量天线以测量距离为半径围绕着 EUT 移动。

无障碍区域的地势应平坦。为了排水的需要,允许地势稍稍倾斜。如果使用金属接地平板,可见 D.2 所述的对金属接地平板平滑度的要求。测量设施和测量人员都应在无障碍区域之外。

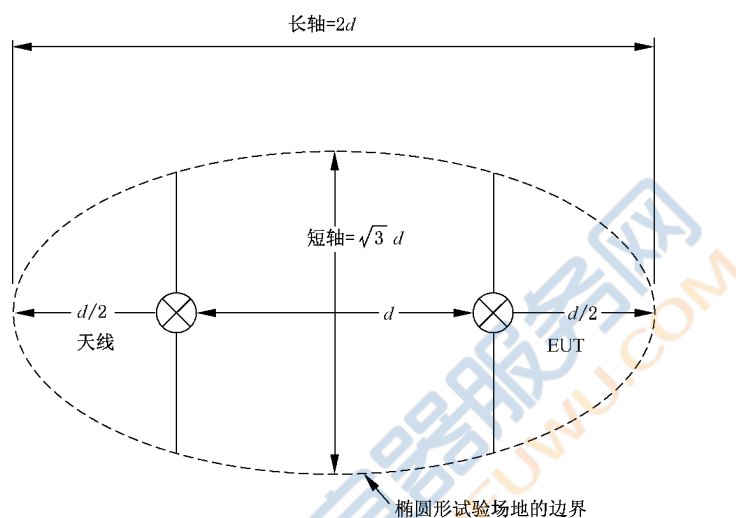


图 5 配备了转台的试验场地的无障碍区域示意图

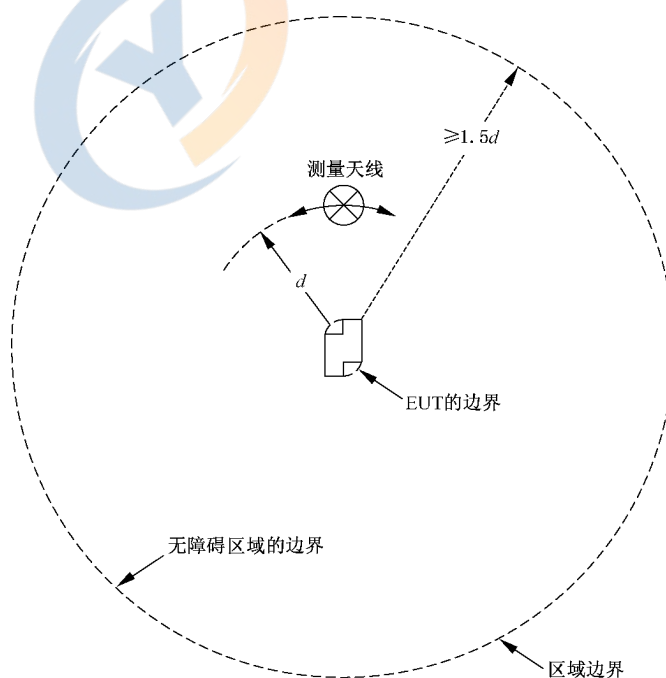


图 6 未配备转台的试验场地、EUT 固定不动情况下的无障碍区域示意图

6.2.4 试验场地周围的射频环境

OATS 周围的射频电平与被测电平相比应足够的低,有关试验场地的质量可以按以下 4 个等级来评价:

- a) 周围的射频电平比被测电平低 6 dB;
- b) 周围某些射频电平比被测电平低,但不足 6 dB;
- c) 周围某些射频电平比被测电平高,但只在有限的可识别的频率上;它们可能是非周期的(即相对于测量来说,发射之间的间隔足够的长),也可能是连续出现的;
- d) 周围的射频电平在大部分测量频率范围内都比被测电平高,并且是连续出现的。

所选择的试验场地需确保:在给定的环境中 and 可行的工程等级下的测量准确度得以维持。

除了射频环境外,测量接收机的固有本底噪声也会对辐射骚扰测量结果引入不确定度。因此,为了使测得的骚扰电平与骚扰限值进行有效的比较,应将射频环境发射和测量接收机固有噪声都减至最小。

6.2.5 接地平板

OTAS 的接地平板可以放在地平面上,也可以放在一定高度的平台或水平屋顶上。最好使用金属接地平板,但对某些设备和应用场合,其产品类标准可能会推荐其他类型的场地。金属接地平板的大小取决于试验是否要满足 6.4 提出的场地确认要求。如果接地平板没有使用金属材料,那么需特别注意选择那些其反射特性不随时间、气候变化或不受地下存在金属材料(如,管道、导管、或不均匀的土质)影响的试验场地。通常,这样的试验场地会给出不同于金属表面的试验场地的场地衰减特性。

6.3 其他类型的试验场地的适用性

6.3.1 其他带有接地平板的试验场地

到目前为止,已经构建了许多不同类型的试验场地来进行辐射骚扰测量。其中大多数都能够免受气候和周围环境电平的影响。在 SAC 中,所有壁面和天花板都装有合适的吸波材料,地面为金属接地平板以模拟 OATS。SAC 把接收天线和周围的射频环境相隔离,不管什么天气都可以对 EUT 进行试验。

有接地平板的试验场地无论用什么样的材料构建,按 6.7 规定所得到的任何单一位置上的确认测量结果都有可能反映不出该替换试验场地的适用性。

为了对可替换的试验场地进行评价,应使用 6.8 中的程序。它是通过在 EUT 所占有的整个空间内的多个位置上进行确认测量的基础上来实现的。所有的确认结果都应落入 ± 4 dB 的允差中,才可认为该替换试验场地的适用性与开阔试验场地是等效的。

注: SAC 通常满足 6.2.4 中试验场地的质量分类 a)。

6.3.2 无接地平板的试验场地(FAR)

内部全部加装了吸波材料的屏蔽室[也称作“全电波暗室”(FAR)]可用于辐射骚扰测量。当使用 FAR 时,应在相关的标准(通用标准、产品或产品类标准)中规定适用的辐射骚扰限值。应以与 OATS 上的相似的试验方法来制定 FAR 上进行的 EUT 符合性试验的无线电业务保护要求(发射限值)。

FAR 旨在模拟自由空间,使得只有来自发射天线或 EUT 的直射波能够到达接收天线。通过在 FAR 的六面使用合适的吸波材料能够使所有的非直射波和反射波减到最小。与 SAC 一样,FAR 能把接收天线与周围的射频环境相隔离,不管何种天气都能对 EUT 进行试验。

注: FAR 通常满足 6.2.4 所列的场地质量分类 a)。

6.4 试验场地确认

6.4.1 概述

对于 COMTS,本文件规定了三种场地确认方法:

- 使用调谐偶极子的归一化场地衰减(NSA)法;
- 使用宽带天线的 NSA 法;
- 使用宽带天线的参考场地法(RSM)。

本文件没有专门描述使用调谐偶极子的 NSA 法,但其可以用于试验场地确认。参考文献[20]给出了调谐偶极子 NSA 的理论值表,包括互阻抗修正系数的理论值表。

6.4.2 和 6.5.1 给出了带有接地平板的试验场地(即 OATS 和 SAC)的确认方法,6.6 和 6.7 分别给出了 RSM 和 NSA 法的详细程序。对 SAC 和具有气候保护罩的 OATS 的确认需要进行 6.8 规定的附加测量。

表 1 汇总了适用于这些特定类型的试验场地的确认方法。如表 1 所示,针对每一种类型的试验场地,规定了 2 种或 3 种场地确认方法。这些方法被认为是完全等效的;即选择一种方法进行评估且符合确认准则即可。此外,也没有规定哪一种确认方法为参考方法。

表 1 适用于 OATS,基于 OATS 的,SAC 和 FAR 场地类型的场地确认方法

试验场地类型	适用的场地确认方法		
	使用调谐偶极子 NSA	使用宽带天线 NSA	使用宽带天线 RSM
OATS	适用	适用	适用
具有气候保护罩的 OATS	不适用	适用	适用
SAC	不适用	适用	适用
FAR	不适用	适用	适用

本文件给出的场地确认方法,是通过比较发射天线与接收天线之间的理想(理论)场地衰减和测得的场地衰减,以度量被确认试验空间的均匀性。发射天线不模拟 EUT;因此,确认程序未定义最大 EUT 空间。GB/T 6113.203 给出了与测量距离有关的 EUT 尺寸的考虑。

6.4.2 试验场地确认方法概述

使用两副极化相同的天线进行试验场地的确认。场地确认应分别在天线水平极化和垂直极化两个方向上进行。

SA 为以下两电压的差值:

- 施加给发射天线的源电压 V_i ;
- 接收天线在规定高度扫描过程中在其端口测得的最大接收电压 V_R 。

电压测量在 50 Ω 系统中进行。

将 OATS(见 6.2)和其他有接地平板的试验场地(见 6.3.1)上测得的 SA 与理想 OATS 上得到的 SA 特性进行比较——此为试验场地确认所定义的被测量。该比较得到的结果即为 SA 的偏差 ΔA_s (单位:dB);见式(6)和式(7)。当 ΔA_s 值在允差 ± 4 dB 以内时,则认为该场地符合要求。

当超出 ± 4 dB 的允差时,则应根据 6.9 的规定来检查试验场地的配置。

注:附录 F 给出了 ± 4 dB 准则的基础。

此外,SA 的偏差不应作为 EUT 测量场强的修正值。6.4 规定的程序应仅限于试验场地的确认。

6.5 OATS 和 SAC 的 NSA 法的基本参数

6.5.1 NSA 理论值的通用公式和表格

表 2 给出了使用宽带天线进行场地确认时在规定频率上的 NSA 的计算值。表 2 说明了表中所使用的量 d 、 h_1 、 h_2 、 f_M 和 A_N 的含义。

注 1: 表 2 中所列规定频率以外的 NSA 值可由表中给出的数值进行线性内插得到。

注 2: LPDA 天线之间的距离 d 为两副天线纵向轴线中点在接地平板上的投影之间的水平距离。

注 3: 双锥天线之间的距离 d 为馈电点振子中心线轴之间的距离。

对于每一种极化方向的场地确认, NSA 法要求得到 2 次不同测量时的接收电压 V_R 。

$V_R(V_{\text{DIRECT}})$ 的第一次读数是将两个电缆各自与其相连的天线断开, 然后用一个转换器将它们连接之后测得的; $V_R(V_{\text{SITE}})$ 的第二次读数是将两根电缆各自重新与天线相连、接收天线进行高度扫描后测量得到的最大值(测量距离为 3 m、5 m、10 m 和 30 m 时高度扫描范围为 1 m~4 m)。两次测量中, 信号源电压 V_i 需保持不变。将测得的结果以及 NSA(A_N) 代入式(6)得到 SA 的偏差。式(6)中所有量的单位均为分贝(dB)。

$$\Delta A_S = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - A_N \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔA_S ——SA 的偏差;

F_{aT} ——发射天线系数;

F_{aR} ——接收天线系数;

A_N ——表 2 给出的 NSA 理论值。

F_{aT} 和 F_{aR} 应为校准的自由空间的天线系数, 详见 6.5.2。

式(6)前面的两项代表场地衰减的测量值, 也就是说, V_{DIRECT} 减去 V_{SITE} 等于经典意义上的场地衰减, 这是由包括天线特性在内的传输路径的插入损耗造成的。

需确认, 测量装置或电缆不会出现因温度变化而产生电压漂移的情况。这可通过适当的时间周期对 V_{DIRECT} 进行重新测量来确认结果的稳定性。

对于所用的各个 NSA 测量方法(6.7.2 中的扫描频率法或 6.7.1 中的离散频率法), 应在有用频率范围内的所有的频率上满足确认要求。

表 2 给出了使用宽带天线(如双锥天线和 LPDA 天线)水平极化和垂直极化时的 NSA 值。

当 ΔA_S 超出 ± 4 dB 的允差时, 则应根据 6.9 的规定来检查试验场地的配置。

6.5.2 天线校准

对于使用 NSA 法的场地确认, 使用自由空间天线系数, 该自由空间天线系数由 CISPR 16-1-6 规定的方法进行测量。

如式(6)所表明的, 使用自由空间天线系数计算 NSA 会引起误差, 尤其是对于 300 MHz 以下的双锥天线和调谐偶极子天线。这是因为表 2 中的 NSA 理论值模型基于赫兹偶极子, 而不是基于用于测量 SA 的实际天线。该模型没有考虑由于与接地平板相耦合而导致的天线系数的显著变化, 或者没有考虑天线的辐射方向图。使用 RSM 不会出现此问题, 因为其不涉及天线系数。参考文献[19]中给出了解决这种问题的部分方法, 该方法可显著减小 NSA 法中天线系数的不确定度。

表 2 NSA 的理论值 A_N^a ——推荐的用于宽带天线的几何布置

极化		水平										
d	m	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30
h_1	m	1	2	1	2	2.5	1	2	3	4	1	2
$h_{2,\min}$	m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$h_{2,\max}$	m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
f_M		A_N										
MHz		dB(m ²)										
30		15.8	11.0	20.7	15.6	14.3	29.8	24.1	21.3	19.7	47.8	41.7
35		13.4	8.8	18.2	13.3	12.2	27.1	21.6	18.9	17.4	45.1	39.1
40		11.3	7.0	16.0	11.4	10.5	24.9	19.4	16.9	15.6	42.8	36.8
45		9.4	5.5	14.1	9.8	9.1	22.9	17.5	15.2	14.2	40.8	34.7
50		7.8	4.2	12.4	8.5	7.9	21.1	15.9	13.7	13.1	38.9	32.9
60		5.0	2.2	9.5	6.3	6.0	18.0	13.1	11.5	11.3	35.8	29.8
70		2.8	0.6	7.2	4.6	4.4	15.5	10.9	9.9	9.9	33.1	27.2
80		0.9	-0.7	5.3	3.2	3.2	13.3	9.2	8.6	8.7	30.8	24.9
90		-0.7	-1.8	3.7	2.0	2.1	11.4	7.8	7.5	7.7	28.8	23.0
100		-2.0	-2.8	2.3	1.0	1.1	9.7	6.7	6.6	6.7	27	21.2
120		-4.2	-4.4	0.1	-0.7	-0.5	7.0	5.0	4.9	5.1	23.9	18.2
140		-6.0	-5.8	-1.7	-2.1	-1.9	4.8	3.5	3.5	3.8	21.2	15.8
160		-7.4	-6.7	-3.1	-3.3	-3.1	3.1	2.3	2.4	2.6	19	13.8
180		-8.6	-7.2	-4.3	-4.4	-4.1	1.7	1.2	1.3	1.6	17	12.0
200		-9.6	-8.4	-5.3	-5.3	-4.7	0.6	0.3	0.4	0.6	15.3	10.6
250		-11.7	-10.6	-7.5	-6.7	-6.7	-1.6	-1.7	-1.6	-1.2	11.6	7.8
300		-12.8	-12.3	-9.2	-8.5	-8.4	-3.3	-3.3	-3.0	-2.8	8.8	6.1
400		-14.8	-14.9	-11.8	-11.2	-11.0	-5.9	-5.8	-5.6	-5.4	4.6	3.5
500		-17.3	-16.7	-13.0	-13.3	-13.0	-7.9	-7.6	-7.6	-7.3	1.8	1.6
600		-19.1	-18.3	-14.9	-14.9	-14.5	-9.5	-9.3	-9.2	-8.9	0.0	0.0
700		-20.6	-19.7	-16.4	-16.1	-15.9	-10.8	-10.6	-10.5	-10.2	-1.3	-1.4
800		-21.3	-20.8	-17.6	-17.3	-17.1	-12.0	-11.8	-11.6	-11.4	-2.5	-2.5
900		-22.5	-21.8	-18.7	-18.4	-18.0	-12.8	-12.9	-12.7	-12.4	-3.5	-3.5
1 000		-23.5	-22.7	-19.7	-19.3	-19.0	-13.8	-13.8	-13.6	-13.6	-4.4	-4.5

表 2 NSA 的理论值 A_N^a ——推荐的用于宽带天线的几何布置 (续)

极化		垂直										
d	m	3	3	5	5	5	10	10	10	10	30	30
h_1	m	1	1.5	1	1.5	2.0	1	1.5	2.5	3.5	1	1.5
$h_{2,\min}$	m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$h_{2,\max}$	m	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
f_M		A_N										
MHz		dB(m ²)										
30		8.2	9.3	11.4	12.0	12.7	16.7	16.9	17.4	18.2	26.0	26.0
35		6.9	8.0	10.1	10.7	11.5	15.4	15.6	16.1	16.9	24.7	24.7
40		5.8	7.0	8.9	9.6	10.4	14.2	14.4	15.0	15.8	23.5	23.5
45		4.9	6.1	7.9	8.6	9.5	13.2	13.4	14.0	14.9	22.5	22.5
50		4.0	5.4	7.1	7.8	8.7	12.3	12.5	13.2	14.1	21.6	21.6
60		2.6	4.1	5.6	6.3	7.4	10.7	11.0	11.7	12.7	20	20
70		1.5	3.2	4.3	5.2	6.4	9.4	9.7	10.5	11.7	18.7	18.7
80		0.6	2.6	3.3	4.3	5.6	8.3	8.6	9.5	10.9	17.5	17.5
90		-0.1	2.1	2.4	3.5	5.1	7.3	7.6	8.7	10.2	16.5	16.5
100		-0.7	1.9	1.6	2.9	4.7	6.4	6.8	8.0	9.6	15.6	15.6
120		-1.5	1.3	0.3	2.1	3.4	4.9	5.4	7.0	6.8	14.0	14.0
140		-1.8	-1.5	-0.6	1.7	1.0	3.7	4.3	6.2	5.2	12.7	12.7
160		-1.7	-3.7	-1.3	1.0	-0.7	2.6	3.4	4.1	3.9	11.5	11.6
180		-1.3	-5.3	-1.8	-1.0	-2.2	1.8	2.7	2.8	2.8	10.5	10.6
200		-3.6	-6.7	-2.0	-2.6	-3.3	1.0	2.1	1.6	1.7	9.6	9.7
250		-7.7	-9.1	-3.2	-5.5	-5.6	-0.5	0.3	-0.6	-0.3	7.7	7.9
300		-10.5	-10.9	-6.2	-7.5	-7.3	-1.5	-1.9	-2.4	-1.9	6.2	6.5
400		-14.0	-12.6	-10.0	-10.5	-10.0	-4.1	-5.0	-5.1	-4.5	3.9	4.3
500		-16.4	-15.1	-12.5	-12.6	-11.6	-6.7	-7.2	-7.1	-6.3	2.1	2.8
600		-16.3	-16.9	-14.4	-13.5	-13.4	-8.7	-9.0	-8.7	-8.0	0.8	1.8
700		-18.4	-18.4	-15.9	-15.1	-14.8	-10.2	-10.4	-9.9	-9.3	-0.3	-0.9
800		-20.0	-19.3	-17.2	-16.5	-16.0	-11.5	-11.6	-11.1	-10.5	-1.1	-2.3
900		-21.3	-20.4	-17.4	-17.6	-16.9	-12.6	-12.7	-12.1	-11.5	-1.7	-3.4
1 000		-22.4	-21.4	-18.5	-18.6	-17.9	-13.6	-13.6	-13.1	-12.4	-3.5	-4.3
d ——发射天线和接收天线中点在接地平板上投影之间的水平距离； h_1 ——发射天线中心离接地平板高度； h_2 ——接收天线中心离接地平板高度,将高度扫描范围中得到的最大接收信号用于 NSA 的测量结果； f_M ——对应的频率； A_N ——对应的 NSA 理论值。												
^a 使用表中数据时需注意,在天线垂直极化、天线中心距地面 1 m 时,天线低端至少距地面 25 cm。所列频率以外的数据可通过内插方式得到。												

6.6 用于 OATS 和 SAC 场地确认的参考场地法

6.6.1 概述

RSM 提供了另外一种使用宽带天线来确认试验场地适用性的方法。与 NSA 方法相同,要求测量 V_{DIRECT} 和 V_{SITE} 。这些结果可由和 NSA 法所规定的相同的几何布置和极化得到。对于具有气候保护罩的 OATS 或 SAC,其具体配置为:

- 测量距离为 3 m、5 m 或 10 m;

注 1: 尽管 RSM 适用于 30 m 的场地,但由于合适的参考场地数量有限,因此做这样的要求是不切实际的。

- 水平极化时发射天线的高度为 1 m 和 2 m,垂直极化时发射天线的高度为 1 m 和 1.5 m;

注 2: 其他发射天线高度见表 2。

- 接收天线的高度扫描范围为 1 m~4 m。

RSM 和 NSA 方法之间的主要差异在于 SA 的偏差计算,RSM 使用式(7)进行计算:

$$\Delta A_S = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

上式计算使用的是天线对的参考 SA(A_{APR})的测量结果,而不是使用式(6)中的发射天线和接收天线的天线系数以及 NSA(A_N)的计算值。

注 3: A_{APR} 不涉及天线系数,但包括天线之间的耦合以及天线与地面之间耦合的影响。此外,还包括天线的辐射方向图,这与 NSA 法不同,在 NSA 法中辐射方向图近似地被认为与赫兹偶极子的相同。

对于具有气候保护罩的 OATS 和 SAC,要求 4 组数据,即两个天线高度和两种极化。对于每一个附加的距离、天线极化和天线高度,要求不同的 A_{APR} ,如表 3 所示的模板示例。

表 3 A_{APR} 数据模板的例子

频率 MHz	天线对的参考场地衰减 A_{APR} dB			
	水平极化		垂直极化	
	$h_1=1\text{ m}$	$h_1=2\text{ m}$	$h_1=1\text{ m}$	$h_1=1.5\text{ m}$
30	...	...	...	...
31	...	...	...	...
32	...	...	...	...
...	...	...	...	...

当使用网络分析仪或频率步进式的接收机进行 RSM 测量时,应使用表 4 规定的频率步长。

注 4: RSM 为扫频方法。表 4 规定了最大频率步长。

注 5: 当使用连续调谐的接收机或频谱分析仪用于 RSM 测量时,表 4 规定的频率步长不适用。

表 4 RSM 的频率步长

频率范围 MHz	最大频率步长 MHz
30~100	1
100~500	5
500~1 000	10

试验场地 RSM 的测量频率应与获得 A_{APR} 数据的频率(例如参考试验场地上的,见 6.6.3)相同。

式(7)中的 ΔA_s 准则应在表 4 规定的所有频率上得到满足。

6.6.2 RSM 测量不能使用的天线

出于本文件的考虑,复合天线不应用于 RSM 的场地确认测量。

注 1: 当使用双锥天线和复合天线分别对特定的 SAC 场地确认时,测量结果之间会出现大的偏差。产生这种偏差的主要原因是天线相位中心之间的距离不同,例如,对于双锥天线为 10 m,典型的复合天线近似为 11.2 m。为了避免这种复现性的问题,不能使用复合天线。

注 2: 由于复合天线通常又大又重,相位中心的确定具有较大的不确定度,尤其对于 3 m 的试验场地,两副复合天线的总长度可能几乎为 3 m,因此,场地确认时通常不能使用复合天线。

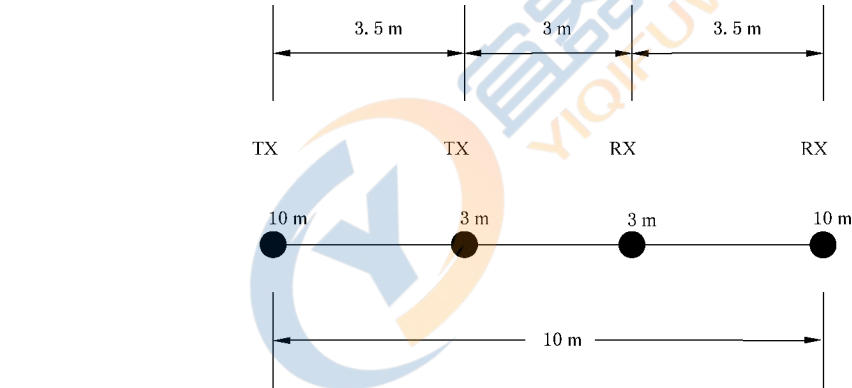
注 3: 通常,对场地 SAC 确认使用标准天线(双锥天线或 LPDA 天线)能呈现较好的性能,即较小的 ΔA_s ;强烈反对使用复合天线进行确认时通过调整 SAC 设计参数以符合场地判定准则。为了使制造商建造的 SAC 具有比标准要求更高的性能,则需对 SAC 的 ΔA_s 指标提出更高的要求,例如规定 ΔA_s 为 3.5 dB。

6.6.3 参考试验场地上天线对参考场地衰减的确定

测量 A_{APR} 的一种方法是使用参考试验场地(REFTS),REFTS 需按 CISPR 16-1-5 中规定的程序来建立。另一种方法见 6.6.4。

对于 10 m 测量距离,确定 REFTS 上 A_{APR} 的位置应和根据 CISPR 16-1-5 的程序对 REFTS 进行确认的位置相同。

对于 3 m 测量距离,测量应在根据 CISPR 16-1-5 的程序对 REFTS 进行确认的发射天线和接收天线之间的轴线上进行(见图 7)。



标引序号说明:

TX —— 发射天线;

RX —— 接收天线。

图 7 3 m 和 10 m 测量距离时试验点的位置

以下程序应用于确定 A_{APR} :

- a) 确定 V_{DIRECT} ;
- b) 发射天线处于水平极化,高度设置在 1 m ;
- c) 接收天线处于水平极化,距发射天线的距离为 d ;
- d) 接收天线在 1 m~4 m 进行高度扫描时确定 V_{SITE} ;
- e) 按照式(8)计算 A_{APR} :

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} \dots\dots\dots (8)$$

- f) 发射天线处于水平极化时,其高度设置在 2 m ;发射天线处于垂直极化时,其高度分别设置在 1 m 和 1.5 m 时,重复步骤 b)~e)。

6.6.4 在大的 OATS 上使用平均技术确定天线对的参考场地衰减

确定 A_{APR} 的另外一种方法是在大的 OATS 上进行测量(大的 OATS 判定准则,见本条以下的段)。导致实际场地与理想场地的 SA 存在偏差的因素包括:接地平板有限的面积和平坦度,附近物体的反射,例如建筑物和树木;同时,接地平板边缘的反射会在测量的 SA 中产生正弦状起伏,主要会影响垂直极化测量。通过改变接地平板上天线对的位置,也能够改变起伏的幅值和相位。

为了尽可能地减小这些影响,可在若干位置测量天线对的 SA,然后计算平均值。这种平均值将趋近于理想场地的 SA。

注 1: 相似的技术见参考文献[19]。

OATS 应满足以下要求:

- 接地平板的最小尺寸为 30 m×20 m;
- 平坦度的偏差优于±10 mm;
- 金属接地平板上无保护层(电介质)。

应使用以下程序确定 A_{APR} :

- a) 根据图 8 所示方案,在 OATS 上确定天线对的试验点。每副天线的 9 个点都应位于接地平板上。当 OATS 上存在气候保护罩时,试验点和气候保护罩之间的最小距离应大于 3 m。禁止将测量位置放在气候保护罩内。

注 2: 建议本地坐标系需以相对于接地平板的直线边缘的非零角度放置,同样地,也需以相对于焊缝的非零角度放置。图 9 给出了这种布置的示例。

在满足下述条件下,可允许少于 9 个测量位置(即 18 个测量点)。

- 1) 以往确认表明场地符合要求:

如果在过去的 24 个月内至少一对天线在每一个频段已符合标准偏差 $s \leq 0.3$ dB 的准则[见式(10)],则可用以下方法确定最小数量的天线对测量位置:

- 双锥天线水平极化时,1 个中心位置;
- 双锥天线处于垂直极化时,1 个中心位置和 2 个其他位置;
- LPDA 天线水平极化和垂直极化时,1 个中心位置。

- 2) 以往确认表明较少的测量点符合要求,如果符合准则的测量点少于 9 个,则允许使用这些点的数量。

注 3: 为了更准确地确定 A_{APR} ,推荐使用天线对的所有 9 个位置。

- b) 所选择的试验位置从 1~N(N 小于或等于 9)进行编号。
- c) 天线放置在位置 1。
- d) 按照表 4 规定的频率在所要求的高度和极化方向上测量 $A_{APR,1}$ 。
- e) 对其他所有位置重复步骤 d)。
- f) 计算测得的 $A_{APR,i}$ 的平均值(单位:dB),见式(9):

$$A_{APR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{APR,i} \quad \dots\dots\dots (9)$$

- g) 计算 A_{APR} 的标准偏差(单位:dB),见式(10):

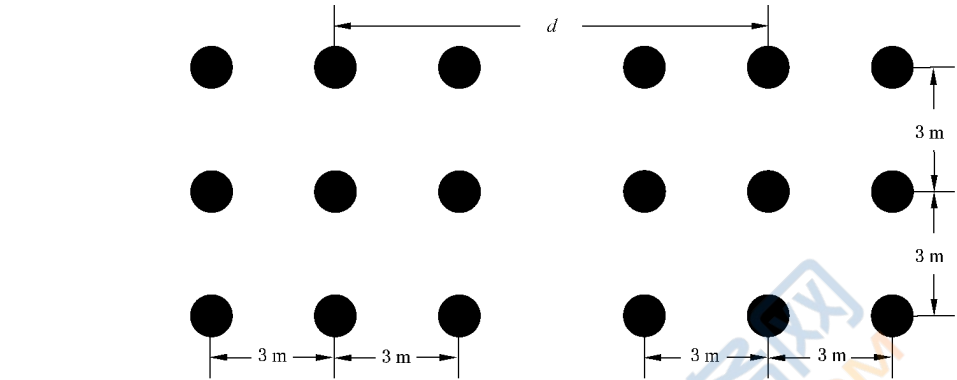
$$s(A_{APR}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (A_{APR,i} - A_{APR})^2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

当在所有的测量频率满足 $s \leq 0.6$ dB 时,则认为校准的 A_{APR} 值是可接受的,可用于随后的 COMTS 确认。

当 $N \geq 2$ 时,应使用式(10)计算 $s(A_{APR})$,此为计算不确定度时的输入量。当 $N=1$ 时,应假设 $s=0.6$ dB。

应特别注意,在所选择位置的测量数据中没有引入公共偏差(系统效应)。这种效应可能是由于天线杆的影响。对于某些天线杆,电机盒的金属外壳和天线之间会出现显著的耦合。这种影响量的幅值应通过下述方法研究得到:改变天线和电机外壳之间的距离 d_{Ant} (见图 10),然后重复对 A_{APR} 进行测量。这种影响量应包括在不确定度计算中。

产生公共偏差的另外一个原因是天线电缆的反射。为了尽可能地减小这种影响量,天线电缆在下垂到地面之前应在天线后部至少水平走线 2 m。电缆上应加装铁氧体磁环以减小表面电流。这种影响量也应包括在不确定度计算中。



标引序号说明:

d ——两副天线的参考点在地面上投影之间的距离。

图 8 所有测量距离时试验点对的位置

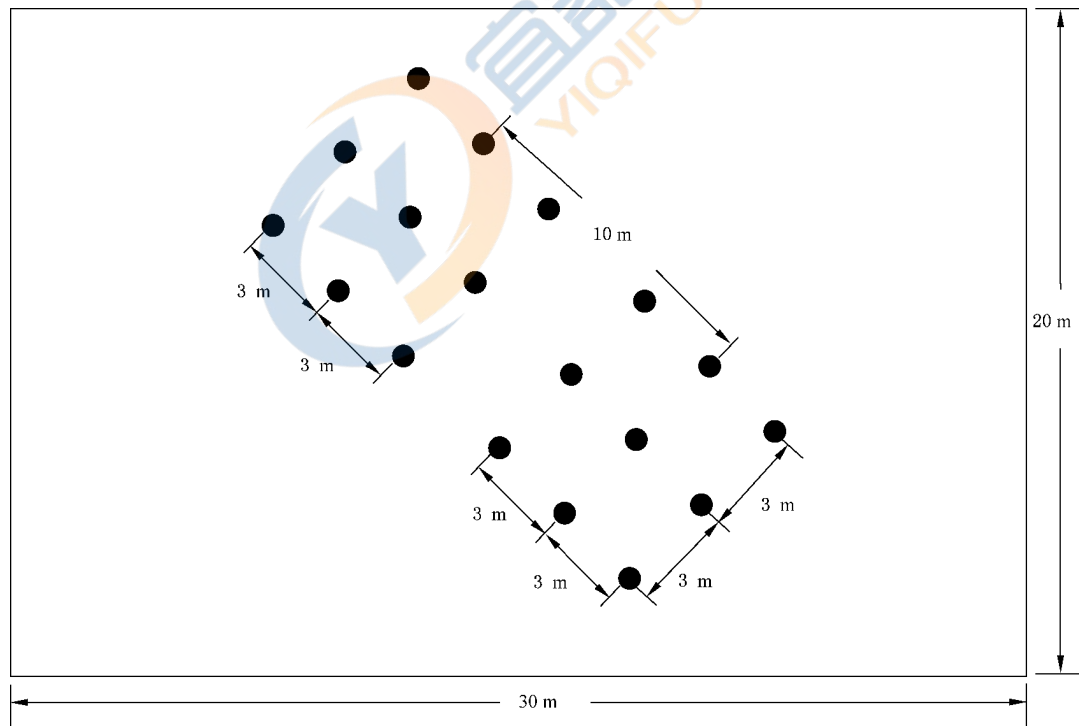


图 9 测量距离为 10 m 时试验点对选择的示例

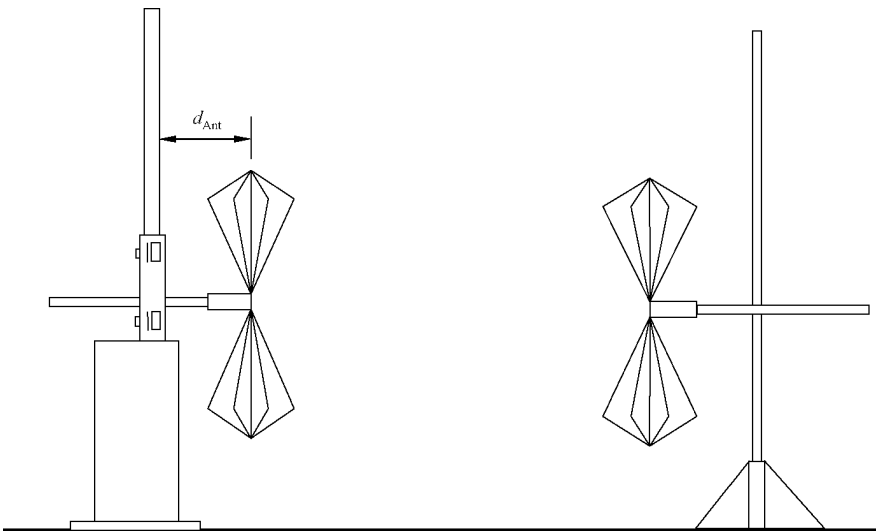


图 10 研究天线塔影响 A_{APR} 的示例

6.7 使用 NSA 方法确认 OATS

6.7.1 离散频率法

6.7.1.1 测量布置

图 11 和图 12 示出了特定的测量布置细节。首先,用一根适当长度的传输线将信号发生器和发射天线连接起来,然后将发射天线放在规定的位置上,该天线的高度设置在 h_1 (见表 2),并选择所需的极化方向。如果使用可调谐的偶极子天线,那么就需要按所需的频率来调整天线的长短。对于宽带天线,天线高度应设置为 $h_1 = h_{2min} = 1\text{ m}$ 。

将接收天线安装在一个可在 $h_{2min} \sim h_{2max}$ 高度范围内升降的支架上,距发射天线的距离为 d ,用一根长度适宜的电缆将其与测量接收机或频谱分析仪连接起来,其极化方向与发射天线的极化方向相同。

注:与图 11 和图 12 中所示试验布置相比,OATS 的场地确认仅需要在单个位置上进行场地衰减测量。

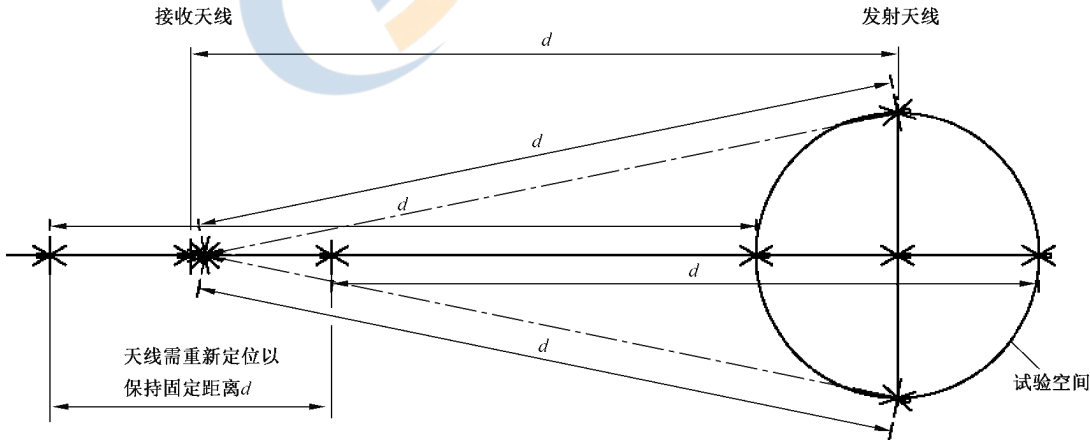


图 11 垂直极化确认测量时具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 中的典型天线位置

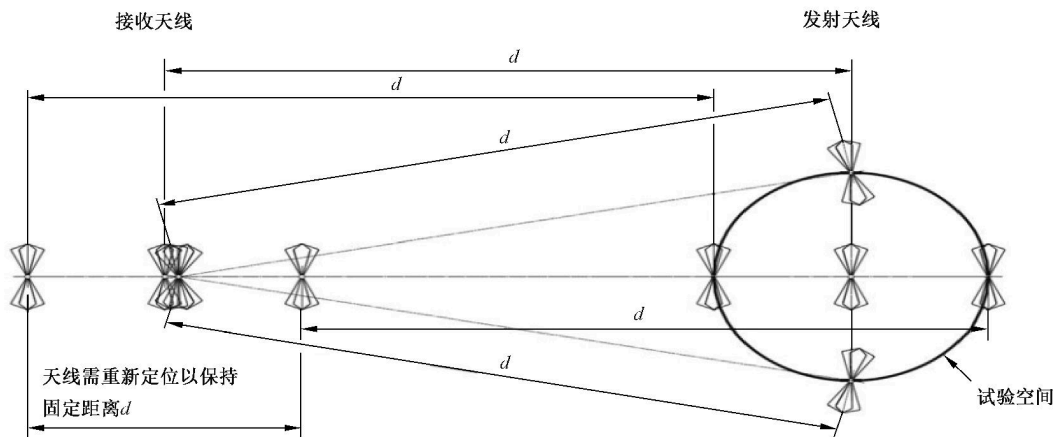


图 12 水平极化确认测量时具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 中的典型天线位置

6.7.1.2 测量程序

应按下述步骤对表 2 中所规定的每一个频率进行测量。测量首先在水平方向上进行,然后再在垂直方向上进行,此时,发射天线的高度设置在 h_1 上。

- 调整信号发生器的输出电平,使其高于环境和测量接收机(或频谱分析仪)的噪声电平,并得到一个适宜的接收电压指示;
- 按表 2 中相应规定的 h_2 来升高天线塔上的接收天线进行扫描;记录最大的信号电平,该值即为 6.5 中式(6)的 V_{SITE} ;
- 断开各自与发射天线和接收天线相连的电缆,用转接器直接将两根电缆连接起来;
- 记录发射电缆与接收电缆连接后的信号电平,该值即为式(6)中的 V_{DIRECT} ;
- 对每一个频率的每一种极化,都要重复步骤 b)~d),然后将每次测得的值依次代入式(6);
- 将各个频率相应的发射天线和接收天线的系数依次代入式(6);
- 求解 $A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{aT}} - F_{\text{aR}}$,即为该测量极化方向上相应测量频率上的 NSA;
- 将理论的 NSA 值(见表 2)减去第 g)步得到的 NSA 值可得到 ΔA_s ;
- 如果第 h)步得到的 ΔA_s 不超过 ± 4 dB,那么就认为该 OATS 在该频率处、该极化方向上是有效的;
- 每测量一个新的频率点,都要在两种极化方向上重复步骤 a)~i)。

注: 对于 NSA 测量方法,无论是信号源的输出阻抗还是测量接收机(或频谱分析仪)的输入阻抗的失配都能引起反射,从而导致测量误差。这可以通过使用 10 dB 的衰减器来避免。将衰减器分别与发射天线和接收天线电缆相连接。如果系统灵敏度允许,则在整个 NSA 的测量过程中,每根电缆都要保留这样的衰减器。

6.7.2 扫描频率法

6.7.2.1 测量布置

扫描频率法的测量布置与 6.7.1 所述的测量布置基本相同,不同的只是使用了宽带天线。由于宽带天线的物理尺寸小(例如与调谐偶极子相比),所以没有必要对垂直极化方向上的天线移动做严格的要求。天线高度应设置为 $h_1 = h_{2\min} = 1$ m。

6.7.2.2 测量程序

使用具有峰值保持(最大保持)贮存能力的自动测量设备和跟踪信号发生器,按下述步骤进行测量。

这种方法能在所要求的频率范围内对接收天线的高度 h_2 和测量频率进行扫描。该频率范围通常取决于所用宽带天线的类型。频率扫描的速度一定要比天线高度的扫描速率快得多。首先,将发射天线的高度设置在 h_1 ,然后

- 调整信号发生器的输出电平,使其高于环境和测量接收机(或频谱分析仪)的背景噪声,并得到一个适宜的接收电压指示;
- 按表 2 中相应规定的扫描范围,将支架上的接收天线升至最大的高度;
- 按要求设置频谱分析仪的扫频范围。应确保调整后的频谱分析仪能够在同一幅度的刻度上将相差高过 60 dB 的两个相似信号显示出来,以便可以与第 d) 步所记录的电平相适应;
- 慢慢降低接收天线的高度直至表 2 相应于该试验场地的尺寸所列出的高度扫描范围的最低点。贮存或记录所接收到的最大电压指示 V_{SITE} (dB μ V) (降低天线所用的时间需比频谱分析仪的扫描时间长得多);
- 断开各自与发射天线和接收天线相连的电缆,用转接器直接将两根电缆连接起来,贮存或记录此时的电压显示 V_{DIRECT} (dB μ V);
- 对每一个频率用第 e) 步得到的电压减去第 d) 步得到的电压值,然后再分别减去发射天线和接收天线的系数 F_{AT} (dB/m) 和 F_{AR} (dB/m) (作为频率连续函数的天线系数可以从用离散天线系数连接成的简单线性曲线中得到)。该结果即为所关注的频率范围内 A_s 的测量值。需将 A_s 的测量值和表 2 给出的理想场地的 NSA 的理论值绘成曲线。
- NSA 的理论值与其测量值之差 ΔA_s 应落入 ± 4 dB 的范围。

注:对于 NSA 测量方法,无论是信号源的输出阻抗还是测量接收机(或频谱分析仪)的输入阻抗的失配都能引起反射,从而导致测量误差。这可以通过使用 10 dB 的衰减器来避免。将衰减器分别与发射天线和接收天线电缆相连接。如果系统灵敏度允许,则在整个 NSA 的测量过程中,每根电缆都要保留这样的衰减器。

6.8 具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 的确认

对具有气候保护罩的 OATS 或 SAC,只在单个位置上进行 NSA 测量是不够的,因为这样不足以拾取到来自结构(建筑物)和/或安装在顶部和侧壁上的射频吸波材料的所有可能反射。出于对这种场地描述的需要,特对术语“试验空间”做如下定义:最大的 EUT 或系统围绕其中心位置 360° 旋转所形成的空间(例如,利用转台旋转而成)。要对场地进行水平极化和垂直极化的评估,如图 11 和图 12 所示,可能要求进行多达 20 次的场地衰减测量。即:水平面的 5 个位置(中心,左、右、前、后),两个极化方向(水平和垂直),和两个高度(水平极化时 1 m 和 2 m;垂直极化时 1 m 和 1.5 m)。

使用宽带天线实施上述测量时,测量距离是指相对于两个天线的中心之间的距离。发射天线和接收天线的振子应相互平行,并且与测量轴垂直。

对于水平和垂直极化,除了中心位置,发射天线的位置需在试验空间的周界上。作为指导,试验空间需保证天线顶端和最近的吸收材料顶端之间的距离至少为 25 cm,或者天线中点和最近的吸收材料顶端之间的距离至少为 1 m。对于垂直极化,天线的低端应高于地面至少 25 cm;对于最低的测量高度,也可能要求天线的中心要比 1 m 稍高。

满足下述条件,可以减少所要求的测量次数:

- 如果吸波材料和其他结构离试验空间的后周界的距离大于 1 m,那么,后边位置上要进行的垂直极化和水平极化的测量可以被省略;

注:业已表明:靠近电介质表面放置的辐射骚扰源的电流分布会发生变化,它会对该位置上的辐射源的辐射性能产生影响。当 EUT 靠近这些电介质的表面放置时,那么就需要进行附加的场地衰减测量。

- 如果天线的顶端至少能覆盖试验空间直径的 90%,那么试验空间左、右位置连接线上要进行的水平极化测量的数量就可减少到规定的最小数量;
- 如果 EUT 顶部的高度(包括支撑桌子的高度)小于 1.5 m,那么,在 1.5 m 高度位置上要进行

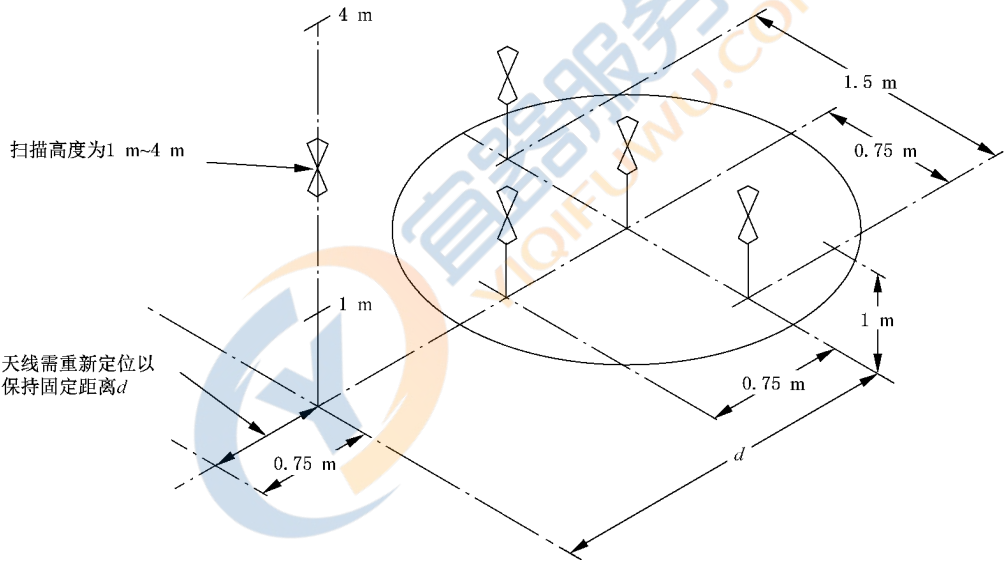
的垂直极化就可以被省略；

- d) 如果试验空间的长宽高的尺寸(包括所用试验桌子的尺寸)不超过 $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$, 那么只需在中心、前和后 3 个位置上进行水平极化测量,但同时要在 1 m 和 2 m 这 2 个高度上进行。如果也满足上述 a) 的条件,那么后面位置上的测量也可以省略。这样就只需要在最基本的 8 个位置上进行测量:第一个高度 4 个位置上的垂直极化测量(前、左、中、右);再加上 2 个高度 2 个位置(前、中)共四点的水平极化测量。见图 13 和图 14。

接收天线应沿着与转台中心的连线重新定位并保持其(与发射天线之间的)距离不变(见图 11、图 12、图 13 和图 14)。如果上述所有的 NSA 测量的结果都满足 6.4.2 的要求,那么就可认为该试验场地对辐射骚扰测量是适用的。

如果试验空间高度 h 超过 2 m ,则应使用两个发射天线高度 h_1 ;即对于水平极化, $h_1=1\text{ m}$ 和 $h_1=h\text{ m}$;对于垂直极化, $h_1=1\text{ m}$ 和 $h_1=(h-0.5)\text{ m}$ 。例如,如果试验空间高度 $h=3\text{ m}$,则对于水平极化,发射天线高度 h_1 应为 1 m 和 3 m ,对于垂直极化应为 1 m 和 2.5 m ;如果试验空间高度 $h=4\text{ m}$,则对于水平极化,发射天线高度 h_1 应为 1 m 和 4 m ,对于垂直极化应为 1 m 和 3.5 m 。

表 2 给出了以下距离时 NSA 数据需要附加的发射天线高度,即对于测量距离 10 m ,附加的发射天线高度分别为 3.0 m 和 4.0 m (水平极化), 2.5 m 和 3.5 m (垂直极化),对于测量距离 5 m ,附加发射天线高度为 2.5 m (水平极化)和 2.0 m (垂直极化)。

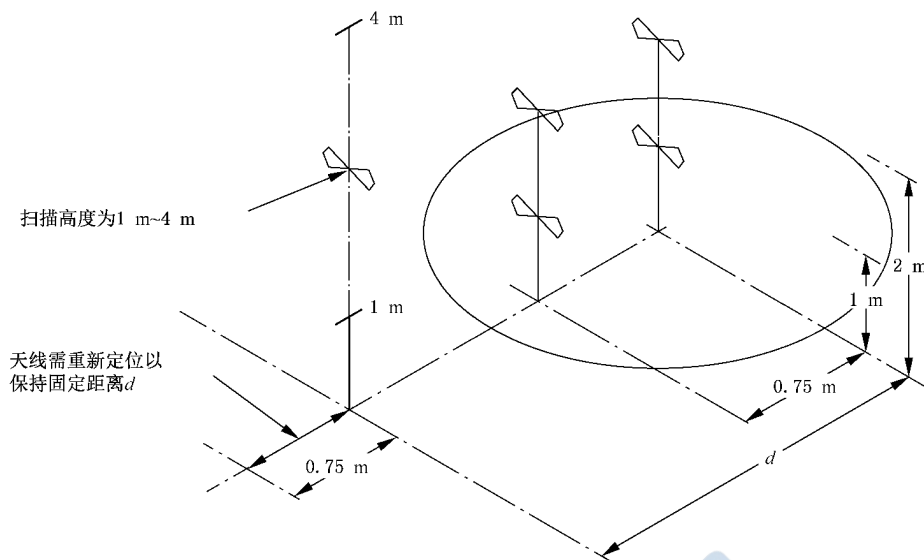


标引序号说明:

d ——发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

注: EUT 的整体尺寸长宽高不超过 $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,其周界离可能引起反射的吸波材料的最近距离需大于 1 m 。

图 13 垂直极化确认测量时具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 中的典型天线位置(适用于较小的 EUT)



标引序号说明:

d ——发射天线和接收天线的中心垂直投影之间的距离。

注: EUT 的整体尺寸长宽高不超过 $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$, 其周界离可能引起反射的吸波材料的最近距离需大于 1 m 。

图 14 水平极化确认测量时具有气候保护罩的 OATS 或 SAC 中的典型天线位置(适用于较小的 EUT)

6.9 超出场地可接受限值的一些可能的原因

如果使用式(6)[使用 RSM 时为式(7)]得到的偏差 ΔA_s 超出 $\pm 4\text{ dB}$ 的范围,那么应就如下方面进行调查:

- 测量程序;
- 天线系数的准确度;
- 信号源的漂移、接收机或频谱分析仪输入衰减器的准确度;
- 测量装置的读数。

按上述 4 个环节检查完毕后,如果未发现差错,那么说明场地本身确实存在问题,需要对可能导致场地变化的原因进行细致的调查研究。附录 F 给出了 NSA 测量中可能出现的误差。

需要注意的是:由于垂直极化测量通常更为精密,所以与水平极化测量结果相比,采用这种具有更高灵敏度的测量更容易发现试验场地的问题。主要检查以下几个方面:

- a) 接地平板的尺寸和结构是否合适;
- b) 场地周界附近有无可能造成有害反射的物体;
- c) 气候保护罩的反射;
- d) 转台表面具有导电性、且与接地平板等高时,转台周边与接地平板的不连续性;
- e) 接地平板上厚的电介质覆盖物;
- f) 接地平板上用于安放地下控制室梯子的开口。

6.10 FAR 的场地确认

6.10.1 概述

对于 FAR,在一个圆柱体的试验空间(由转台上的 EUT 旋转而成)内,NSA 应满足 6.10.4 的要求。这里所指的“EUT”包括了所有的多单元的 EUT 的组件以及它们之间的连接电缆。表 5 给出了作

为测量距离函数的试验空间的最大高度和最大直径($h_{\max}=d_{\max}$)。测量距离和直径这样一个比值可以确保在 EUT 骚扰测量中有一个可接受的不确定度。

表 5 相对于测量距离试验空间的最大尺寸

试验空间的最大高度 $h_{\max}$ 和最大直径 $d_{\max}$ m	测量距离 d_{nominal} m
1.5	3.0
2.5	5.0
5.0	10.0

单一位置的 SA 测量可能不足以拾取来自 FAR 结构(建筑物)和/或安装在其侧壁、地板和顶部以及转台上的吸波材料的反射。

因此, FAR 的 SA 测量和确认时发射天线应在试验空间中的 15 个测量位置上、分别处于垂直极化和水平极化的情况下来进行(见图 15)。

——在试验空间的底部、中部和顶部 3 个高度上。

——在所有的(3 个)水平面内的 5 个位置上:每个平面的中心、前、后、左、右。如果后面位置与吸波材料的距离大于 0.5 m,那么后面位置上的测量就可省略。在 EUT 的试验过程中,如果转台上后面的位置也可以转到前面,那么后面反射的贡献也不会影响最大的信号。

为了测量 SA,应使用两副宽带天线。其中发射天线放在试验空间需要测量的位置上,其参考点的投影与该位置重合;接收天线放在试验空间以外,其方位和位置如前所述。发射天线应具有近似的全向 H 面方向性图,通常为小的双锥天线。

对于 3 m 测量距离,发射天线的最大尺寸不宜超过 40 cm;对于较大的测量距离,当双锥天线为笼形设计时,两振子顶端之间的最大长度可为 44 cm,当为折叠式或旋转的锥形时,两振子顶端之间的最大长度可为 50 cm。

在 30 MHz~1 000 MHz 的频率范围,典型的接收天线是复合天线(双锥天线和 LPDA 天线的组合)。或者是在 30 MHz~200 MHz 使用双锥天线,在 200 MHz~1 000 MHz 使用 LPDA 天线。

注 1: 由于典型的复合天线(双锥天线和 LPDA 天线的组合)的物理尺寸较大,对于 3 m 测量距离,不管是 EUT 的发射试验还是 FAR 的场地确认,都不推荐使用这些复合天线。

在 FAR 上测量 SA 应与在准自由空间上测量参考 SA 时(6.10.2)所使用的设备完全相同。进行场地 FAR 确认时所用的接收天线应与对 EUT 进行辐射骚扰测量时所用的接收天线的类型完全一致。

对于试验空间在水平和垂直两个极化方向上、其内放置发射天线的所有位置上的场地确认,在 FAR 中接收天线应固定在试验空间高度的一半的位置上,见图 15 和图 16。需倾斜天线来使得两天线的视轴与测量轴(即发射天线和接收天线之间的连线)在一条线上。测量轴上接收天线参考点(通过天线校准确定)与试验空间前点之间的距离表示为 d_{nominal} 。当发射天线移动到试验空间的其他位置时,应沿着测量轴移动接收天线以保持 d_{nominal} 不变。对于所有的测量位置和极化方向,接收天线和发射天线应面对着面且两天线的振子应相互平行(呈倾斜状,见图 16)。在场地确认过程中,任意一个天线座和天线支撑物都应各就各位。

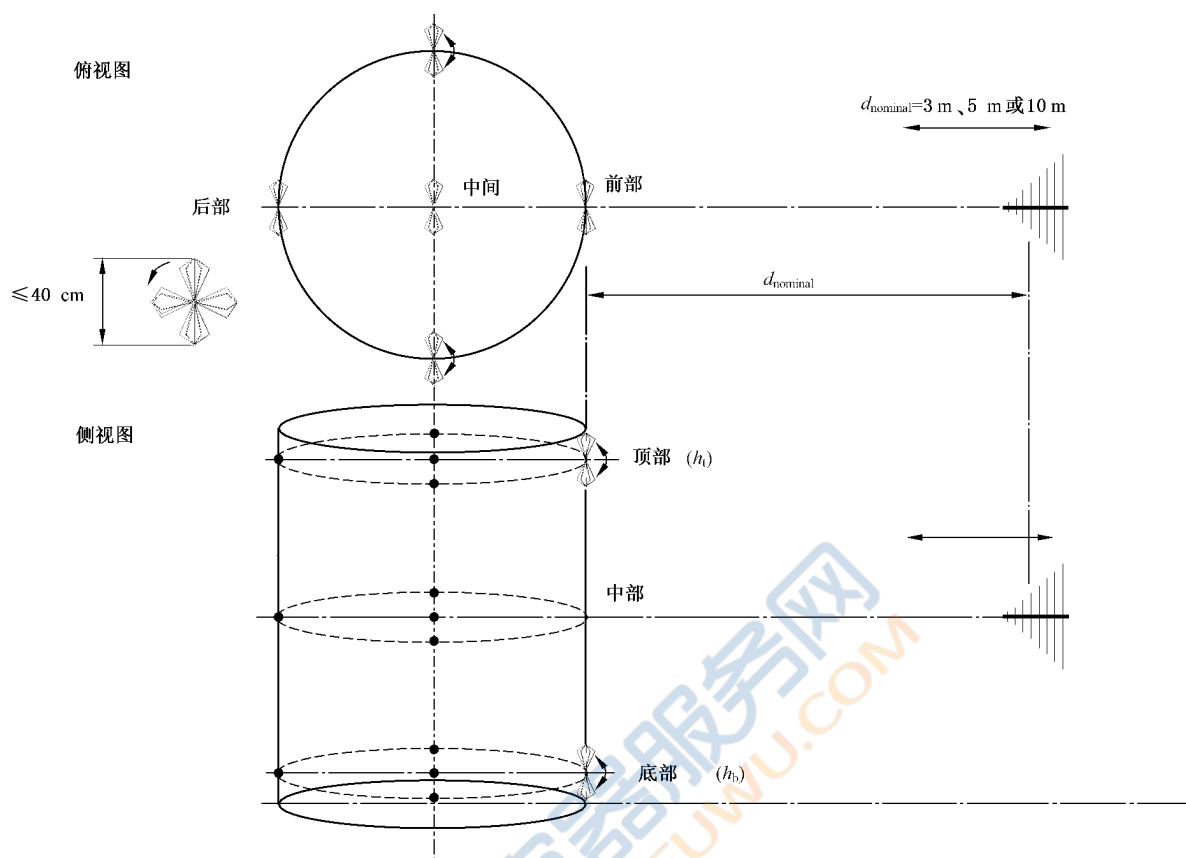
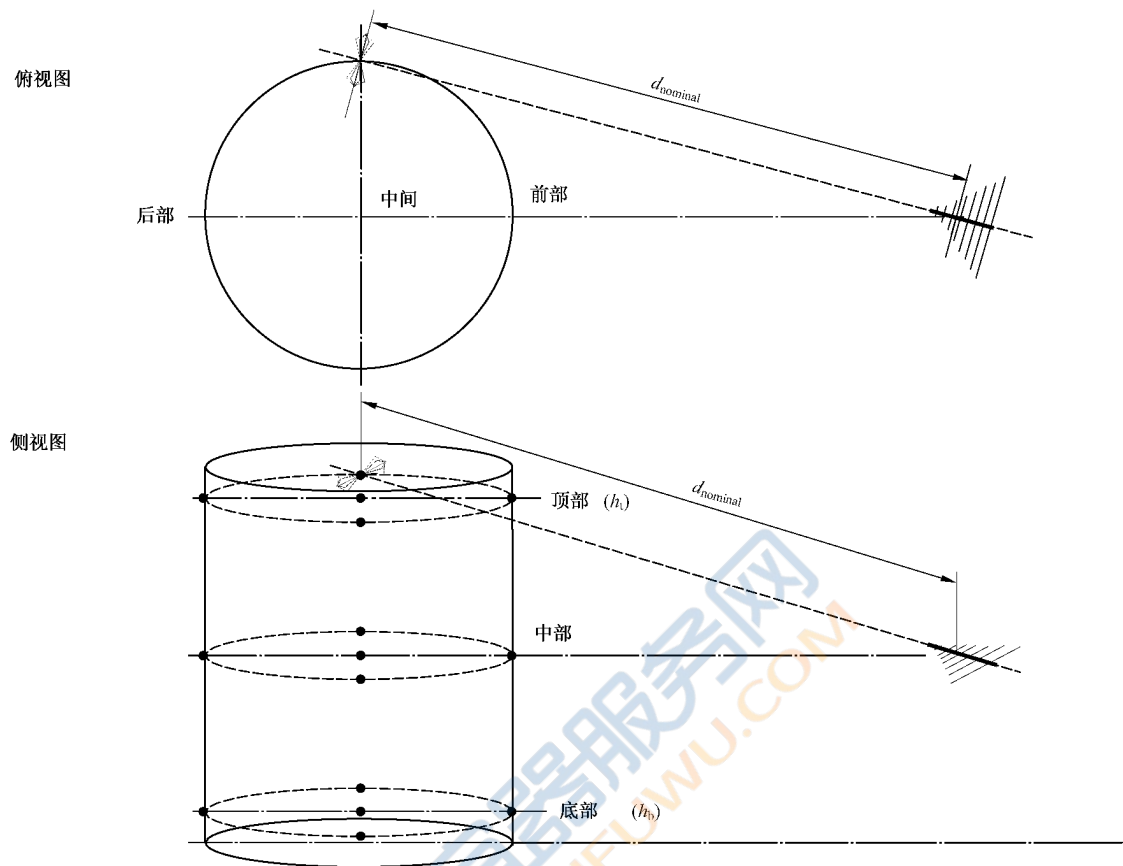


图 15 FAR 场地确认所规定的测量位置示意图

对于所有的在试验空间内放置发射天线的位置上、以及垂直和水平极化 2 个方向上,都应将发射天线和接收天线放在测量轴上对齐。



注：天线水平极化，位于右顶端。

图 16 FAR 场地确认程序所规定的测量位置和天线倾斜放置的一个示例

d_{nominal} 是与限值有关的 EUT 的测量距离；或者是场地确认程序所规定的天线之间的固定距离；或者是使用 RSM 时参考 SA 测量过程中天线之间的间隔。

应按下述要求来确定发射天线在试验空间中的高度：

- “中间”(h_m)，其可能沿着 FAR 的半高和半宽位置的虚拟的轴线；
- “顶部”(h_t)和“底部”(h_b)，为 h_{max} (见表 5)的一半减去发射天线宽度的一半(例如，小双锥天线为 20 cm)。

上述位置的调整对于垂直极化和水平极化都适用。试验空间的顶部与 FAR 顶部的吸波材料之间的距离、试验空间的底部与地面放置的吸波材料之间的距离分别由试验空间的 NSA 确认时所确定的吸波材料的性能给出，但至少为 0.5 m，以避免 EUT 与吸波材料之间的耦合。

表 6 列出了离散频率法测量中应采用的最大的频率步长。

表 6 FAR 确认的频率范围和步长

频率范围 MHz	最大步长 MHz
30~100	1
100~500	5
500~1 000	10

对于场地的确认,可以使用下面两种方法:

- a) 参考场地法(6.10.2),适用于小于 5 m 的测量距离;
- b) NSA 法(6.10.3),适用于不小于 5 m 的测量距离。

注 2: 测量距离小于 5 m 时,天线之间的互耦合不能忽略。此外,测量距离大于 5 m 时确定 A_{APR} 也是不切实际的。

场地确认测量方法旨在提供与理想场地进行的测量时的 0 dB 偏差。场地确认准则见 6.10.4。只要这些与所规定的试验布置和程序不相违背,不掩盖场地缺陷,如不适当地平滑测量结果中的谐振响应,那么就允许使用任何测量方法以降低测量不确定度。

采用下述方法可以降低场地确认的测量不确定度。

- a) 当天线垂直极化时,屏蔽电缆应在其离开天线垂落到地面之前至少应延伸 2 m 长的距离。如果可能,应将该电缆笔直延伸到 FAR 侧壁管状连接器中。另一种可行的方法是在电缆上加装铁氧体。还有一种减少电缆影响的办法是使用光缆连接。
- b) 在天线连接器端接衰减器(如 6 dB 或 10 dB)可以减少天线因大的阻抗失配带来的影响。
- c) 应使用巴伦具有良好平衡性能的天线(当天线相对于其视轴旋转 180°时,接收机读数的变化不超过 ±0.5 dB)。4.5.4 描述了检验天线对称的确认方法。
- d) 如果独立的双锥天线和 LPDA 天线(在频率达到 200 MHz 时,变换天线的类型)用于 EUT 的试验,那么 FAR 确认时可以使用这些天线。如果相对于测量距离,复合天线的机械尺寸足够的小,那么也可以使用复合天线对 FAR 进行评估。

应按规定的时间间隔实施 FAR 的场地确认程序,以检测出 FAR 特性长期变化的状况。当场地的改变可能会影响 FAR 内电磁波传输特性时,也应对场地进行确认。

6.10.2 RSM

RSM 考虑了天线的近场效应和场的锥削,这些因素可以对 3 m 测量距离使用双锥接收天线的测量结果产生显著影响。当这些效应出现在 NSA 法中时,基本上都被进行了修正。在(发射天线和接收天线之间的)标称距离 d_{nominal} 上进行参考场地衰减 A_{APR} 的测量。

按下面 3 个步骤进行 FAR 的场地确认,该方法适用于试验空间的所有位置:

- a) V_{DIRECT} 为一系列的空间试验测量开始之前,将电缆直接连接在一起时用测量接收机测得的参考电平,正常情况下 V_{DIRECT} 只测一次, dB(μV);
- b) V_{SITE} 为连接天线后用测量接收机测得的电平, dB(μV);
- c) 测得的场地衰减与天线对参考场地衰减(A_{APR})的偏差 ΔA_s 。由式(11)计算,单位: dB。

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{APR} \quad \dots\dots\dots (11)$$

为了得到小于 5 m 测量距离上准确的场地确认,建议使用一对专用天线(发射天线和接收天线)来确定参考场地衰减。要求有一个准自由空间的试验场地(见定义 3.1.18)。它由 2 个非金属天线架构成($\epsilon_r \leq 2.5$ 的木质或塑料材料,低损耗,保持机械强度下直径尽可能地小),允许在地平面之上的足够高度上放置天线(见图 17)。一种可行的能够获得 ±1 dB 的参考场地衰减性能的方法是选择如式(12)的天线高度(h):

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

d ——两天线之间的间隔。

为了抑制地面的影响,推荐天线的高度为 $h = d \times 8/3$,或需要在地面上一定的区域放置可工作到低至 30 MHz 的吸波材料。

注: 测量距离为 3 m、频率为 30 MHz 时,存在一个显著的近场影响项($1/d^2$),当天线高度为 $d \times 5/3$ 时,其产生的误差为 0.8 dB。这种情况已得到英国国家物理实验室的验证。如果地面上不放任何的吸波材料,要想得到一个

不确定度小于±0.5 dB的参考 SA,那么推荐的天线高度为 $d \times 8/3$ 。

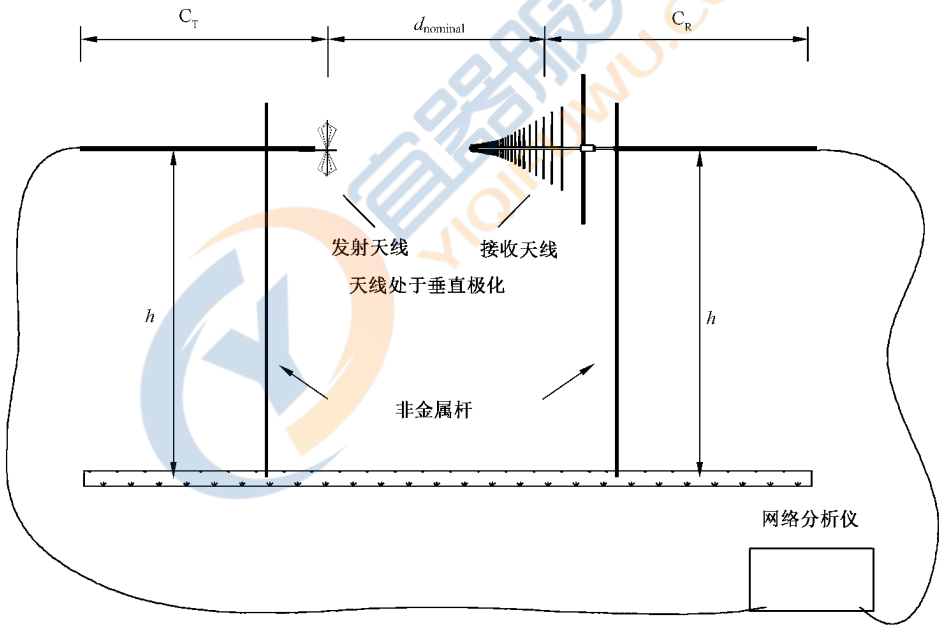
参考场地上的测量距离应等于实际中的测量距离 d_{nominal} (FAR 中两个天线之间的距离)。天线应处于垂直极化方向(因为地面反射信号有较强的干扰,所以不应使用水平极化)。它可以提供一个良好的接近自由空间的场地。因为周围的建筑物,树木等可能对垂直极化天线的测量产生影响,所以天线距它们的空间距离应大于 $d \times 8/3$ 。

应注意,天线电缆不应影响测量结果。采用如图 17 所示的电缆布置或使用射频光电连接是避免天线电缆影响的最好办法。参考测量的布置直接影响 FAR 的评估结果。按下述 3 个步骤来确定天线对参考 SA(A_{APR})。

- a) V_{DIRECTRS} 为将电缆连接在一起时用测量接收机测得的参考电平, dB(μV);
- b) V_{SITERS} 为在所要求的距离 d_{nominal} 、连接天线后用测量接收机测得的电平, dB(μV);
- c) 按式(13)计算得到 A_{APR} (单位: dB)。

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECTRS}} - V_{\text{SITERS}} \dots\dots\dots (13)$$

对于测量距离为 3 m 的场地确认,天线离地面的高度至少应为 4 m,这个高度是进行发射测量中所用到的对天线架进行遥控的典型高度。在这种情况下,电磁吸波材料应放在两个天线之间的地面上,其放置的最小面积应扩展到天线照射的所有方向之外,并且应证明能够满足准自由空间条件(即 SA 测量结果在任意频率上与理想响应相差±1 dB 之内)。对于大于 3 m 的测量距离的场地确认,选用的天线高度将大于 $d \times 8/3$,或使用业已证明满足±1 dB 的参考场地衰减的可替换的试验布置。



标引序号说明:

d_{nominal} ——确认距离;

h ——天线高于接地平板或地平面的高度;

C_T, C_R ——分别位于接收天线和发射天线之后的用于发送和接收天线的同轴馈电电缆,平行于地面,如果实际情况允许,其长度尽可能为 2 m。在 FAR 内,电缆取向尽可能水平,最好是直接穿过暗室的墙壁孔,或使用光纤连接到与天线输出端相连的射频光电转换器。

注:对图 17 的所有场地尺寸可分别得到参考场地衰减。

图 17 准自由空间场地参考测量的典型布置图

6.10.3 NSA 法

本节规定了适用于 FAR 的 NSA 法。天线布置见 6.10.1。对于一个特定的试验场地,所谓场地衰减(SA,由 A_s 表示,单位:dB)就是在特定场地两个天线连接器之间测得的传输损耗。对于自由空间场地,天线不用进行高度扫描,这种损耗由术语“场地插入损耗”(见 3.1.26)表示。

对于自由空间环境, A_s (单位:dB)可以近似地用式(16)来表示^[13]:

$$A_s = 20\lg\left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}}\right) - 20\lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

F_{aR} 、 F_{aT} ——分别为发射天线和接收天线的系数;单位为分贝每米(dB/m);

d ——两天线相位中心之间的距离,单位为米(m);

Z_0 ——系统阻抗(即 $50\ \Omega$),单位为欧姆(Ω);

β ——由 $2\pi/\lambda$ 来确定;

f_M ——频率,单位为兆赫兹(MHz)。

由于 NSA 的理论值 $[A_{N\text{theo}}, \text{单位: dB(m}^2\text{)}]$ 是由场地衰减减去相应的天线系数来确定的,因此式(14)可写为式(15):

$$A_{N\text{theo}} = 20\lg\left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}}\right) - 20\lg(f_M) \quad \dots\dots\dots (15)$$

对于 3 m 法 110 MHz 以下和 5 m 法 60 MHz 以下的频率,通过与图 18 和式(15)的理论 NSA 的比较,需要对表 8 中所要求的每一个测量位置应用近场修正系数。近场修正系数对所用的天线、测量距离和试验空间都是特定的,因此能通过诸如 NEC 这样的数字模型的计算来获得^[3],使用式(15)可获得足够小的不确定度。或者,在 6.10.2 规定的参考场地法中,如果在同一个频率上使用相同的天线用于参考 SA 测量和 FAR 的确认,则式(15)的近场修正项就可去掉。

对于 10 m 和 30 m 测量距离,式(15)中的近场项可以被省略,进而可简化为式(16):

$$A_{N\text{theo}} = 20\lg\left[\frac{5Z_0 d}{2\pi}\right] - 20\lg f_M \quad \dots\dots\dots (16)$$

如果使用简化后的式(16)代替式(15),那么在 3 m 测量距离 110 MHz 以上和 5 m 测量距离 60 MHz 以上的频率所引入的误差小于 0.1 dB。在上述频率以下,由于近场效应引入的误差将会大于 0.1 dB。具体到 3 m 测量距离,在 30 MHz 产生最大的误差为 1 dB。为了减少这种误差到 ± 0.3 dB 以内,需使用式(15)。

注 1: 3 m 测量距离 110 MHz 以下和 5 m 测量距离 60 MHz 以下的频率,包含了近场效应。对于每一个单独的试验场地,近场效应都需计算在内。

NSA 法要求使用发射天线和接收天线在自由空间中的天线系数。按以下 3 个步骤在每一个测量位置上进行场地确认。

- V_{DIRECT} 为将电缆连接在一起时用测量接收机测得的参考电平, dB(μV);
- V_{SITE} 为连接天线后用测量接收机测得的电平, dB(μV);
- 按式(17)来计算 SA 的偏差(ΔA_s), dB。

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{N\text{theo}} - F_{aT} - F_{aR} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$A_{N\text{theo}}$ 由式(16)计算得到, ΔA_s 与 6.10.4 规定的适用准则(即 ± 4 dB 准则)进行比较。

注 2: 发射天线和接收天线的参考点之间的距离为 d_{nominal} (其由天线校准所确定的)。由于天线相位中心的变化,天线之间的有效距离随频率的变化而变化。通过有效距离和 d_{nominal} 之间的比可以补偿传输损耗。由于天线校

准并没有规定在标称测量距离上进行,当使用 LPDA 天线时其相位中心位置会发生变化,因此,需对有效测量距离的变化进行修正。使用 RSM 时可避免上述修正和由于天线之间的互耦合引入的附加不确定度。

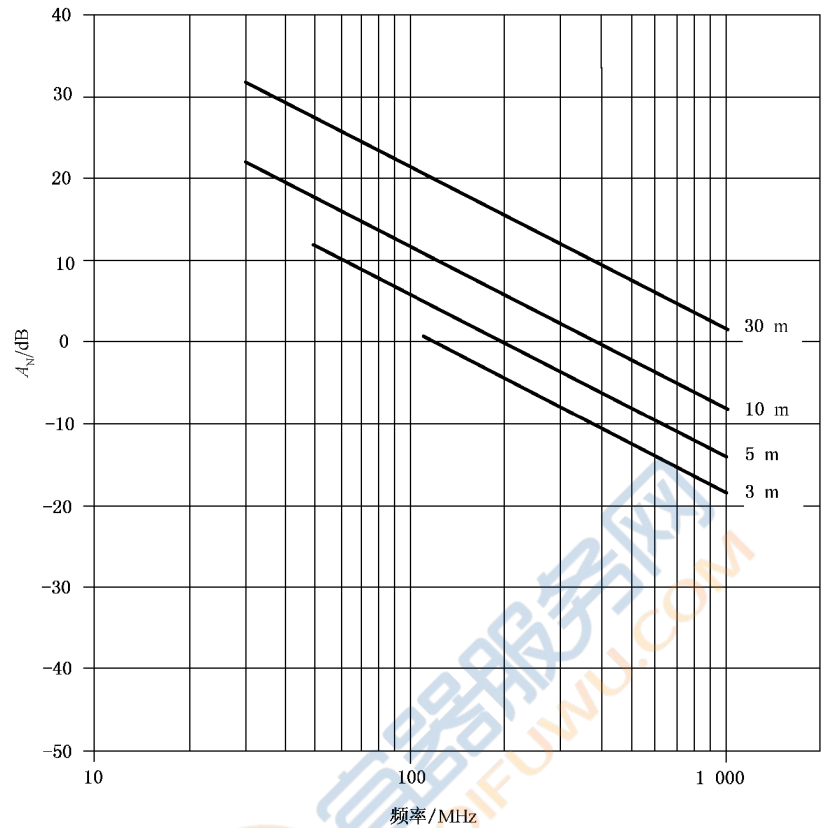


图 18 对于不同的测量距离,作为频率函数的自由空间 NSA 的理论值[见式(16)]

6.10.4 FAR 的场地确认准则

在所有的测量频率和每一个测量位置以及水平和垂直两个极化方向上,SA 的偏差 ΔA_s 应小于 ± 4 dB。

6.11 试验桌和天线塔影响的评估

6.11.1 概述

D.5 规定的试验桌用来放置场强测量中的 EUT。试验桌的形状、结构和材料的介电常数都会对场强的测量结果产生影响(见参考文献[2],[5],[6],[8])。6.11.2 给出了用来确定 30 MHz~18G MHz 频率范围内试验桌对场强测量的影响和评估其有关不确定度贡献的程序。这种评估只适用于高度大于 0.15 m 的试验桌。

注:在评估中仅采用使试验桌上的发射天线处于水平极化的状态。同垂直极化相比,水平极化已考虑了试验桌最坏效应的情况。

由于天线塔的任何扰动的效应都会体现在场地确认测量(见 6.4)中和 S_{VSWR} 测量(见 7.3)中,因此不需要再进行额外的评估。

6.11.2 试验桌和天线塔影响的评估程序

为了评估试验桌的影响,需进行两次发射测量:第一次放置试验桌,第二次移去试验桌。这两次测

量的过程中,发射天线的布置保持不变。两次测量结果之差可给出试验桌影响的评估结果。该测量程序如下:

试验桌应放置在试验场地的典型位置上,其最大尺寸(即矩形试验桌的对角线,或圆形试验桌的半径)应面向接收天线方向(见图 19)。

对于 1 GHz 以下的频率,应在试验桌上放置总长度小于 0.40 m 的小双锥天线。对于 1 GHz 以上的频率,应使用 7.4.2 中规定的天线(如宽带偶极子)。

发射天线的放置见图 19 和图 20。试验桌的表面与水平极化天线参考点(巴伦)之间的距离为 0.1 m。放置天线使其参考点处于接收天线轴线上试验桌中心与桌子边缘之间的中点之上。将信号发生器输入信号馈给试验桌上的天线。发射天线和接收天线的测量轴应位于同一条直线上且振子互相平行。测量过程中,频率步进应小于或等于所使用的最高频率的 0.5%。天线接收到的电压电平应至少高于测量设备的噪声电平 20 dB。需使用长电缆或铁氧体管以尽可能地减小电缆对测量结果的影响。接收天线的电缆需在其后部水平走线至少 2 m。假如电缆走线由其初始位置长度变化大于 0.5 m,而接收电压的变化不大于 0.3 dB,则这种影响可以忽略。

示例:加装铁氧体管的电缆水平走线为 1.6 m。为了检查电缆的影响,电缆需从天线连接处水平走线 2.1 m 后再下垂。然后重新测量场强以确认其变化是否不大于 0.3 dB。

为了确保除有/无试验桌之外测量布置无任何变化,发射天线以及与信号发生器相连的电缆在空间中的位置应始终保持相同。场地确认时 NSA/RSM(见 6.4)测量或 S_{VSWR} 测量(7.3)中使用过的天线杆、三脚架或天线塔也应用于发射天线和电缆的支撑。

天线高度和天线之间的距离规定如下:

- 对于所有频率,接收天线和发射天线之间的距离应与辐射骚扰测量所要求的距离相同。
- 当频率不大于 1 GHz 时,应至少在 200 MHz~1 GHz 的频率范围内进行测量。对于 OATS 或 SAC,接收天线应在辐射骚扰测量要求的高度范围内进行扫描(通常为 1 m~4 m);对于 FAR,接收天线应设置在辐射骚扰测量所要求的固定高度上。

注:当应用本确认程序时,在 200 MHz 以下的频率,试验桌的影响可忽略。

- 当频率大于 1 GHz 时,测量的频率范围(例如:1 GHz~18 GHz)和天线高度(例如:1 m~4 m)的设置应与辐射骚扰测量所要求的相同。

在每一个频率步进,两次测量结果之差值 $\Delta(f)$ (单位:dB)可由式(18)计算得到。

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$V_{R,with}$ ——有试验桌时在特定频率测得的最大电压,单位为分贝(微伏)[dB(μ V)];

$V_{R,without}$ ——无试验桌时在特定频率测得的最大电压,单位为分贝(微伏)[dB(μ V)]。

整个频率范围内的最大差值 Δ_{max} (单位:dB)可作为评估时的最大偏差,见式(19)。

$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad \dots\dots\dots (19)$$

由试验桌引入的标准不确定度 u_{table} 可由测得的最大差值 Δ_{max} 来进行评估,并假设其符合矩形分布。因此 u_{table} (单位:dB)可由式(20)计算得到。

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta_{max} \quad \dots\dots\dots (20)$$

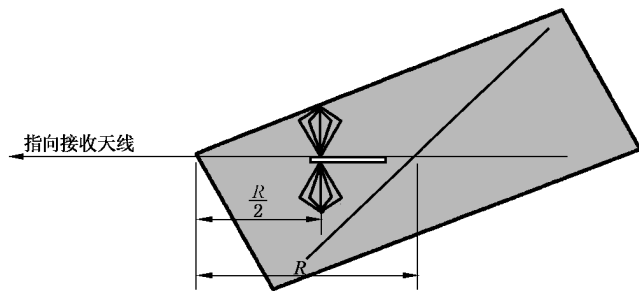


图 19 矩形试验桌上天线相对于试验桌边缘的位置(俯视)示意图

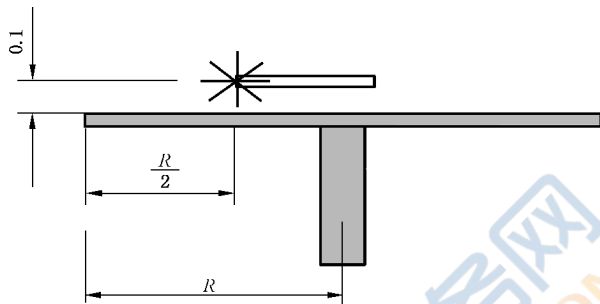


图 20 试验桌上天线的位置(侧视)示意图

注：实验室会使用不同类型的试验桌，因此其结构和材料类型也会有所不同。需充分地考虑在最坏情况下确定 Δ (或 $V_{R, \text{with}}$)，进而来确定 u_{table}

应在以下频率范围的不确定度预评估 (见 CISPR 16-4-2) 中测量和考虑 $u_{\text{试验桌}}$ ：

- 200 MHz~1 GHz；
- 1 GHz~6 GHz；
- 6 GHz~18 GHz。

7 用于无线电骚扰场强测量的试验场地(1 GHz~18 GHz)

7.1 概述

试验场地应基于无反射的条件。要想达到这种自由空间的条件，可能需要使用吸波材料，和/或提高 EUT 的放置高度。

注：对于落地式 EUT，距离地面很近的区域可能达不到无反射的条件。

7.2 参考试验场地

参考试验场地应是一个满足自由空间条件的开阔试验场地(FSOATS)，有措施能够确保其反射不会影响到在这个场地上进行的测量。

注：FSOATS 是一个理想的试验场地。现实中，满足下面确认要求的 FAR 是其实际近似。

7.3 试验场地的确认

7.3.1 概述

如果一个试验场地满足了 7.3.2 中规定的场地有效性判定准则，则该场地即可被视为能够进行 1 GHz~18 GHz 的辐射电磁场测量。给出了两种场地确认程序用于选择： S_{VSWR} 的标准试验程序 (见 7.6) 和 S_{VSWR} 的互易试验程序。就不同的 CISPR 标准的试验目的，场地确认应从 1 GHz 开始直到

该测量设施所使用的最高频率,其最高频率应至少为 2 GHz。

用于 1 GHz~18 GHz 测量的试验场地,其设计应尽量减少反射信号对接收信号的影响,例如 FAR。如果场地的设计无法提供全电波无反射的条件,例如 SAC,那么需要按照下面描述的方法,使用吸波材料来部分覆盖金属接地平板。

如果试验空间是从试验设施的导电地板一直延伸到其上的 EUT(通常是那些主要用于试验落地式 EUT 的试验设施),那么在确认场地时,应按要求将吸波材料放置在试验空间内。对于那些不能被抬高放置在接地平板以上的落地式设备,被放置在接地平板上的吸波材料遮挡的试验空间的高度不能超过 30 cm。

当测量其尺寸小于确认直径的 EUT 的骚扰时,假设确认试验空间的直径适用。在这种情况下,需调整天线位置,以使 EUT 与天线参考点之间的距离等于 S_{VSWR} 确认测量时的距离。

注 1: 对于其尺寸小于确认试验空间的 EUT,基本原理是调整接收天线相对于 EUT 正面的位置,以保持 S_{VSWR} 确认时的距离。假设较小的 EUT 仍位于接收天线的半功率波瓣宽度内,这是因为暗室是根据最大的 EUT 进行确认的,因此接收天线的最宽波瓣宽度,需要满足 GB/T 6113.203—2020 中 7.6.6.1 的要求。

在对落地式 EUT 进行辐射骚扰测量时,用于场地确认所放置在地板上的吸波材料可从紧贴 EUT 放置的位置外移到距离 EUT 底端不超过 10 cm 远的位置。

如果试验设施中的试验空间高于吸波材料,通常用于试验台式设备,那么在场地确认中所使用的吸波材料需在产品试验时保留,并放在试验空间的同一位置。在场地确认报告中应包括有场地吸波材料布置和接收天线/发射天线布置的照片。

场地确认是通过测量场地电压驻波比(S_{VSWR})来进行的。如果需要满足 7.3.2 的准则要求,场地确认方法要评估的是一个特定组合的试验空间,该组合包含试验场地、接收天线、测量距离(在 GB/T 6113.203 中描述)和放置于接地平板上的吸波材料。

用于场地确认的接收天线塔和其他永久性安装在试验空间内的物体(例如永久性安装的转台)的影响都要在场地确认过程中进行评估。对于可移动的物体,例如可移动的试验桌,如果使用了 5.4 中的附加步骤对其影响进行了单独评估,那么在场地确认时不要将其放入。

GB/T 6113.203 中给出了用于 1 GHz~18 GHz EUT 辐射骚扰测量方法。测量 S_{VSWR} 的目的是检查放置于用该方法评估的试验空间内的任意尺寸和形状 EUT 受到的反射影响。

S_{VSWR} 是接收到的最大信号和最小信号之比,它是由直射信号(期望的)和反射信号相互干涉造成的,也可以用式(21)表示:

$$S_{\text{VSWR}} = \frac{E_{\text{max}}}{E_{\text{min}}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

E_{max} 和 E_{min} ——分别是接收到信号的最大值和最小值;

V_{max} 和 V_{min} ——分别是用接收机或频谱分析仪接收时信号的最大值和最小值时所对应的实测电压值。

用下面的方法,将其转换为测量和计算中常用的分贝值(dB),见式(22)。

$$S_{\text{VSWR,dB}} = 20\lg\left(\frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}}\right) = 20\lg\left(\frac{E_{\text{max}}}{E_{\text{min}}}\right) = V_{\text{max,dB}} - V_{\text{min,dB}} = E_{\text{max,dB}} - E_{\text{min,dB}} \dots\dots\dots (22)$$

注 2: 在使用分贝时,根据所用的仪器或信号检波器,接收信号最大值与最小值之差 $S_{\text{VSWR,dB}}$ 可能会采用 dBm、dB(μV)或 dB($\mu\text{V}/\text{m}$)为单位。

注 3: S_{VSWR} 或 $S_{\text{VSWR,dB}}$ 的值是按照 7.6 或 7.7 的描述,在每个频率点和每种极化时进行一组 6 次的测量得到信号的最大值和最小值之后计算得到的。

7.3.2 场地确认可接受准则

S_{VSWR} 直接反映了不希望有的反射信号的影响。1 GHz~18 GHz 场地确认的可接受准则为:

$$S_{\text{VSWR}} \leq 2:1, \text{ 或 } S_{\text{VSWR,dB}} \leq 6.0 \text{ dB}$$

式中:

S_{VSWR} ——依据 7.6 或 7.7 中的方法测量得到。

7.4 S_{VSWR} 标准试验程序的天线要求

7.4.1 概述

为了能够在测试中提供对所有反射表面的照射,并且模拟许多实际的 EUT 展现出的低方向性的辐射方向图,本条规定了用于 S_{VSWR} 试验的设备特性。为了进行 S_{VSWR} 试验,需要使用发射天线和接收天线。

以下各节定义了用于 S_{VSWR} 试验的发射天线的性能准则;有关接收天线的性能准则见 4.6.2。制造商提供的型式试验结果可用于证明天线满足性能准则。

发射天线和接收天线的辐射方向图应按照 CISPR 16-1-6:2014+A1:2016 的附录 I 的程序进行测量。

对于发射天线和接收天线,可以使用一副或多副天线以覆盖 S_{VSWR} 试验的整个频率范围。

注:假设两种天线用于 S_{VSWR} 试验时,在所有频率也都满足性能准则的要求。

7.4.2 发射天线

7.4.2.1 概述

作为发射源的天线应为线性极化天线,其辐射方向图应符合下面给出的具体的特性要求。辐射方向图数据的频率步长应不大于 1 GHz。

由于辐射方向图随频率变化,因此需要不同的频率步长。典型的发射天线辐射方向图不会随频率发生快速变化,而某些 LPDA 接收天线辐射性图却会随频率发生快速变化。

7.4.2.2 发射天线 E 面辐射方向图

简单的线性极化天线的 E 面辐射方向图可以在围绕辐射球体的任何一个截面(方位角不变)上进行测量。方向性图测量的截面应由天线制造商选择,并在天线的特性报告中描述。通常情况下,一种简单的选择是包含连接器和电缆走线的平面。

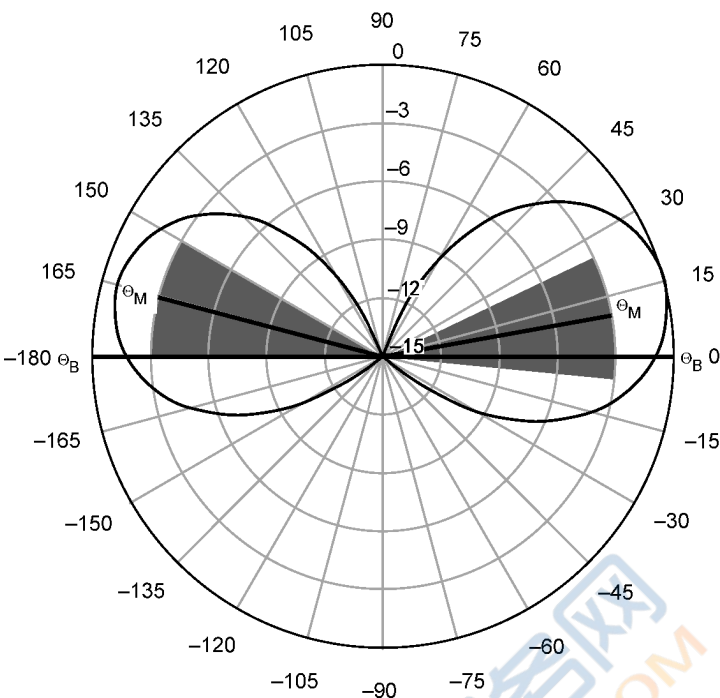
a) 分别在方向图的左侧和右侧各选择一个主瓣方向,标记为 Θ_M 。 Θ_M 应该分别在 $0^\circ \pm 15^\circ$ 和 $180^\circ \pm 15^\circ$ 之间。

b) 在主瓣方向的两侧各绘制一个对称的幅度 ≤ -3 dB,角度为 15° 的区域,即禁区。

注:该限制能够保证天线在基准轴线区域有一个平滑的方向图,且其全向性能可满足要求。

c) E 面的方向图不应进入到禁区中。

图 21 给出了一个能够满足前面 E 面要求的辐射方向图的示例。



注：例图中的天线能够满足本条中对 E 面的要求。左侧和右侧两个主瓣方向 Θ_M 分别都在 $0^\circ \pm 15^\circ$ 和 $180^\circ \pm 15^\circ$ 范围之内。两边的阴影区域代表“禁区”，与主瓣相比，禁区在 $\pm 15^\circ$ 范围内，幅度 ≤ -3 dB。天线的方向性图没有进入到禁区内。

图 21 发射天线 E 面辐射方向图的示例
(此示例仅供参考)

7.4.2.3 发射天线 H 面辐射方向图

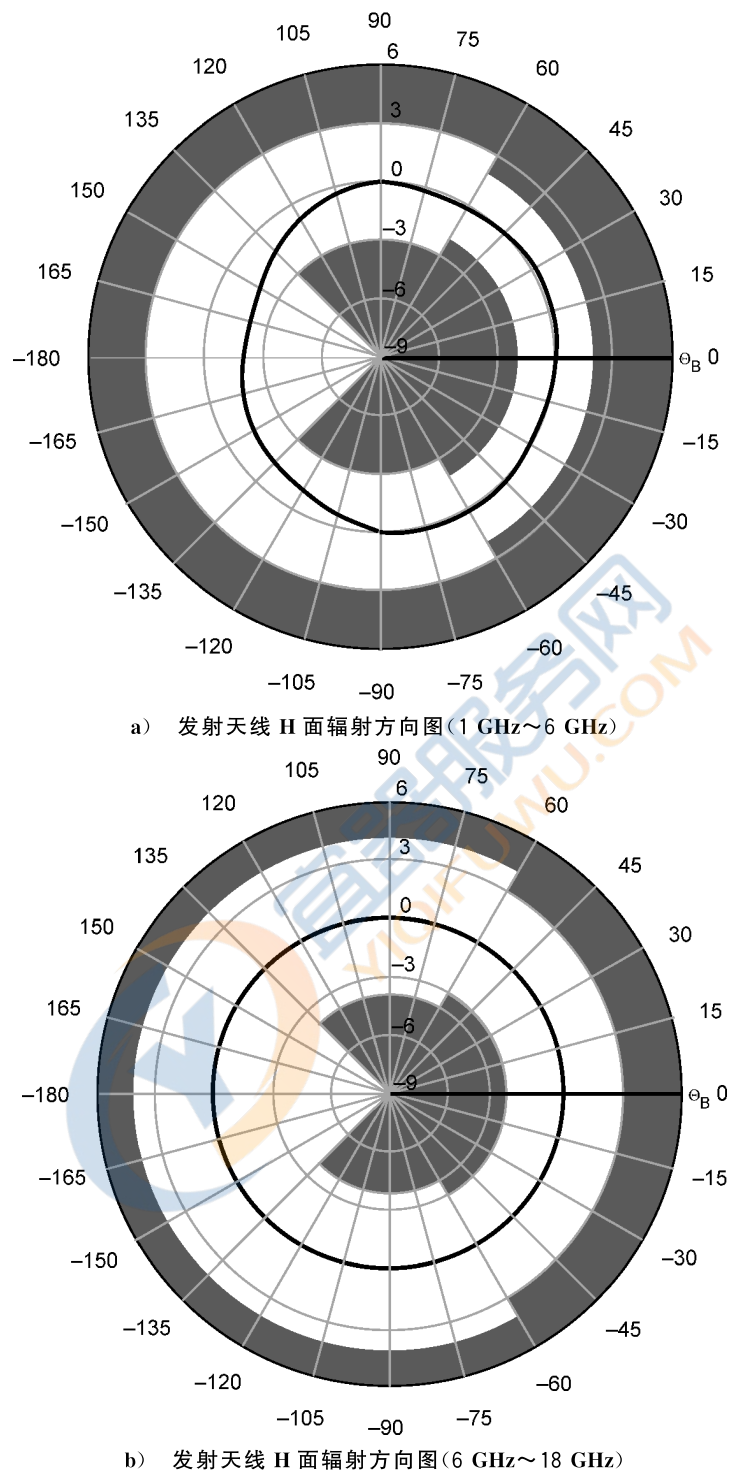
测量偶极子天线 H 面方向图只有一个可能的平面，那就是垂直于偶极子轴线，并与偶极子中心相交的平面。该平面会包含巴伦、输入连接器和输入电缆(取决于是否使用了金属电缆或光纤)。天线制造商应在天线的试验报告中给出测量辐射方向图时的布置图，包括馈入电缆的走向和连接器的位置。

- a) 将辐射方向图 $\pm 135^\circ$ (0° 是基准轴线角度, Θ_B) 范围内的数据(单位: dB)进行平均。在 1 GHz~6 GHz, 方向性图数据的最大步长为 5° 。在 6 GHz~18 GHz, 方向性图数据的最大步长为 1° 。
- b) 方向性图的值与 $\pm 135^\circ$ 范围内的平均值的偏差不应超出下表给出的值：

角度范围	1 GHz~6 GHz	6 GHz~18 GHz
$-60^\circ \sim 60^\circ$	± 2 dB	± 3 dB
$-60^\circ \sim -135^\circ, 60^\circ \sim 135^\circ$	± 3 dB	± 4 dB
$-135^\circ \sim -180^\circ, 135^\circ \sim 180^\circ$	$< +3$ dB	$< +4$ dB

注：虽然在 $\pm 135^\circ$ 以外的区域没有规定 H 面方向图的下限，但这样并不是希望 H 平面方向图在 $\pm 180^\circ$ 位置为零，而是希望天线能有更好的全向性。天线制造商需要提供馈入电缆的走向和天线塔位置的参考，如果可能，需尽量减小它们对 H 面方向图在 $\pm 135^\circ$ 范围之外的区域带来的影响。

图 22 给出了满足前面所述的 H 面要求的方向性图示例。



注：本图满足 H 面要求的天线的例子。阴影区域代表本条中规定的最大允许偏差。在本例中，因为天线的方向图没有进入到阴影区域，所以该天线满足要求。

图 22 发射天线 H 面辐射方向图

(此示例仅供参考)

7.4.3 互易的 S_{VSWR} 方法使用的天线和试验设备

对于互易的 S_{VSWR} 试验程序(见 7.7),试验空间发射所用的天线应和 EUT 辐射骚扰测量用的天线

是同一类型,应满足 4.6.2 中的要求。所使用的全向场强探头,其各向异性不应超过 3 dB。

7.5 场地确认试验所要求的位置点

7.5.1 概述

场地确认测试应在一个圆柱体形状的空间内进行。圆柱体底部建立在用于支撑 EUT 的表面上。圆柱体的顶部选择为 EUT 和它正上方的布线所占据区域的最高处。圆柱体的直径是能够容纳包括电缆在内的 EUT 最大直径。对于要延伸到试验空间以外的电缆,应认为其靠近 EUT 的 30 cm 长的部分属于试验空间内。对于不能抬高,只能放置在支撑平面上的落地式设备,允许放置在地面的吸波材料遮挡试验空间的底部,但从试验空间的底部开始,吸波材料遮挡的高度不能超过 30 cm。根据 7.6 中的方法, S_{VSWR} 的评估是在需要评估的试验空间内放置发射天线,然后按照定义的位置点改变发射源的位置。也可以使用 7.7 给出的互易的 S_{VSWR} 评估方法,按照该条描述的位置在试验空间内放置场强探头。

进行 S_{VSWR} 测量时所要求的位置点取决于试验空间的尺寸。7.8 给出了有条件的测量位置要求的细节。通过延伸至接收天线参考点的直线上,对每个要求的位置和极化方向依次进行 6 次测量以评估 S_{VSWR} 。在图 23 和图 24 中说明了所有可能要求的位置,包括 7.8 中有条件的测量位置。在这两幅图中,沿接收天线直线排列的 6 次测量的序列用圆点表示。

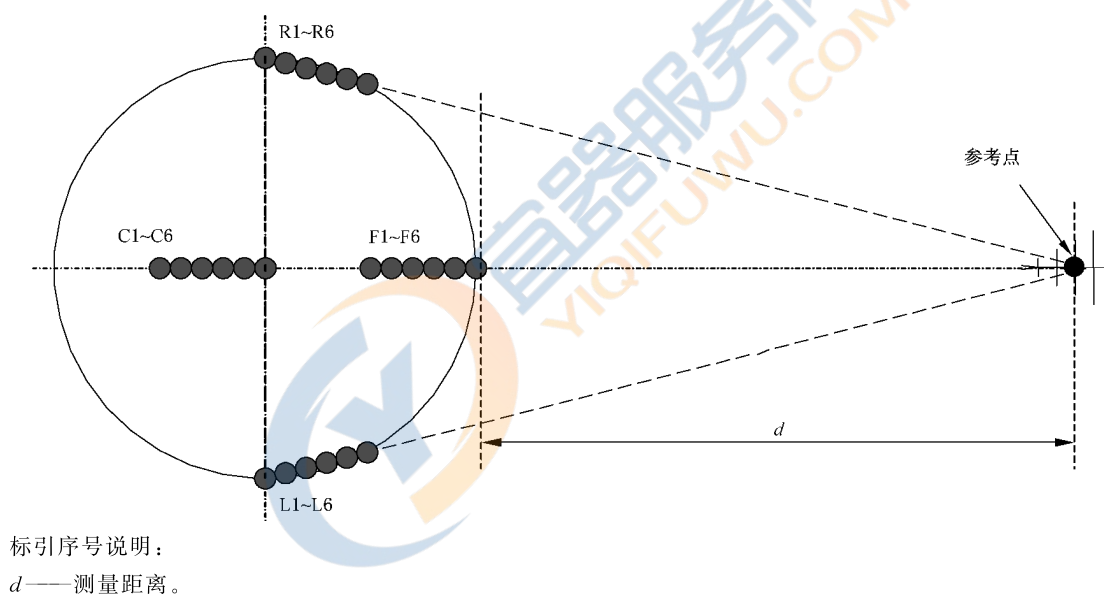


图 23 S_{VSWR} 测量位置点水平分布图(参见 7.5.2)

7.5.2 S_{VSWR} 水平面测量位置点的描述(图 23)

本条给出了如何在如图 23 的水平面上确定 S_{VSWR} 测量位置点。

- a) 前端区域位置 1~6(F1~F6):前端位于试验空间中心至接收天线参考点的连线上。为了确定这些位置点,首先将试验空间的最前端确定为 F6 的位置,沿着测量轴线至接收天线参考点的间隔距离为测量距离 d 。

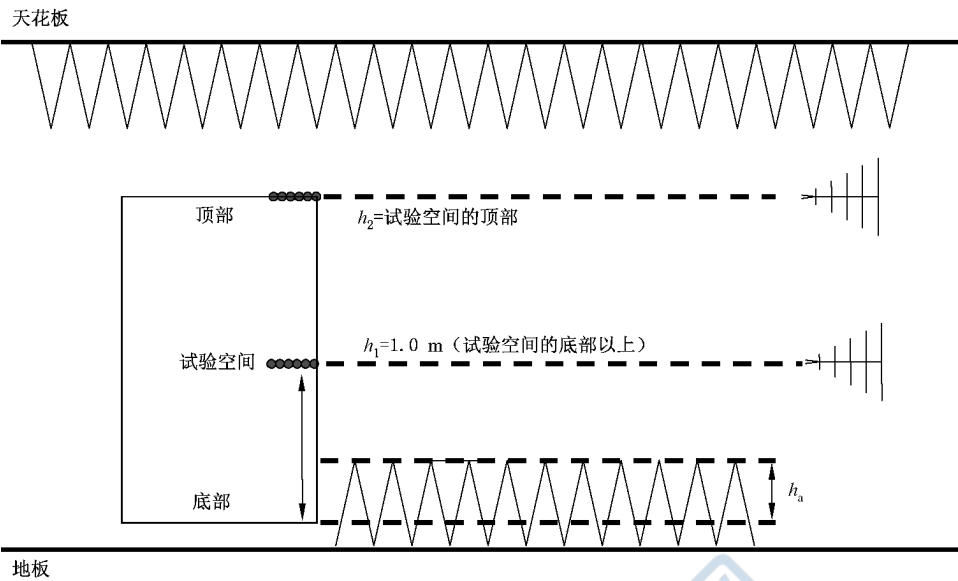
F5 至 F1 与 F6 的关系如下,并逐渐远离接收天线。

- 1) $F5 = F6 + 2 \text{ cm}$ 远离接收天线;
- 2) $F4 = F6 + 10 \text{ cm}$ 远离接收天线;
- 3) $F3 = F6 + 18 \text{ cm}$ 远离接收天线;
- 4) $F2 = F6 + 30 \text{ cm}$ 远离接收天线;

- 5) $F1 = F6 + 40$ cm 远离接收天线。
- b) 右侧区域位置 1~6 ($R1 \sim R6$): 这些点的位置取决于 $R6$ 的位置。沿试验空间最右端的点 ($R1$) 和接收天线参考点的连线, 向接收天线参考点移动 40 cm, 即为 $R6$ 的位置 (参见图 23)。
 $R5$ 至 $R1$ 与 $R6$ 的关系如下, 并逐渐远离接收天线。
- 1) $R5 = R6 + 2$ cm 远离接收天线;
 - 2) $R4 = R6 + 10$ cm 远离接收天线;
 - 3) $R3 = R6 + 18$ cm 远离接收天线;
 - 4) $R2 = R6 + 30$ cm 远离接收天线;
 - 5) $R1 = R6 + 40$ cm 远离接收天线。
- c) 左侧区域位置 1~6 ($L1 \sim L6$): 这些点的位置取决于 $L6$ 的位置。沿试验空间最左端的点 ($L1$) 和接收天线参考点的连线, 向接收天线参考点移动 40 cm, 即为 $L6$ 的位置 (参见图 23)。
 $L5$ 至 $L1$ 与 $L6$ 的关系如下, 并逐渐远离接收天线。
- 1) $L5 = L6 + 2$ cm 远离接收天线;
 - 2) $L4 = L6 + 10$ cm 远离接收天线;
 - 3) $L3 = L6 + 18$ cm 远离接收天线;
 - 4) $L2 = L6 + 30$ cm 远离接收天线;
 - 5) $L1 = L6 + 40$ cm 远离接收天线。
- d) 中心区域位置 1~6 ($C1 \sim C6$): 这些点的位置取决于 $C6$ 的位置。 $C6$ 位于试验空间的中心。当试验空间的直径大于 1.5 m 时, 则需要测量 $C1$ 至 $C6$ 位置点 (见 7.8)。
 $C5$ 至 $C1$ 与 $C6$ 的关系如下, 并逐渐远离接收天线。
- 1) $C5 = C6 + 2$ cm 远离接收天线;
 - 2) $C4 = C6 + 10$ cm 远离接收天线;
 - 3) $C3 = C6 + 18$ cm 远离接收天线;
 - 4) $C2 = C6 + 30$ cm 远离接收天线;
 - 5) $C1 = C6 + 40$ cm 远离接收天线。

7.5.3 V_{VSWR} 附加测量位置点的描述 (图 24)

除了图 23 中标明的位置点外, 可能还需要在试验空间的顶部附加一个 V_{VSWR} 测试平面, 这取决于试验空间的高度。图 24 给出了 V_{VSWR} 测量的附加高度要求。在第二高度的测量只需要测量前端区域的位置点。



标引序号说明：

- h_a —— 试验空间被地面吸波材料遮挡的部分(最高 30 cm)；
 h_1 —— 试验空间的一半所处的高度或试验空间底部上方 1.0 m 处的高度,取决于哪个高度更低；
 h_2 —— 试验空间顶部所处的高度。如果 h_2 距离 h_1 大于 0.5 m,那么需要进行测试(详见 7.8)。

图 24 S_{VSWR} 试验位置点(高度要求)

7.5.4 V_{VSWR} 测量点的总结

表 7 给出了所有测试位置的汇总。在表 7 中,所有定位点按照高度(h_1, h_2)和位置(前,左,右,中)分组。对于每一个位置,指定参考点用于式(23)的计算(见 7.6)。每个位置点用 P_{mnopq} 来表示,下标对应于表 7 中第一列的位置点的名称。

表 7 S_{VSWR} 测量位置点汇总

位置点名称	区域	高度	极化方向	d_{ref} 的参考位置点 [参见式(23)]	与参考位置点的关系
第一个高度处的前端测试位置(前, h_1)					
F1h1H	前	h_1	水平	F6h1	+40 cm 远离接收天线方向
F1h1V	前	h_1	垂直	F6h1	+40 cm 远离接收天线方向
F2h1H	前	h_1	水平	F6h1	+30 cm 远离接收天线方向
F2h1V	前	h_1	垂直	F6h1	+30 cm 远离接收天线方向
F3h1H	前	h_1	水平	F6h1	+18 cm 远离接收天线方向
F3h1V	前	h_1	垂直	F6h1	+18 cm 远离接收天线方向
F4h1H	前	h_1	水平	F6h1	+10 cm 远离接收天线方向
F4h1V	前	h_1	垂直	F6h1	+10 cm 远离接收天线方向
F5h1H	前	h_1	水平	F6h1	+2 cm 远离接收天线方向
F5h1V	前	h_1	垂直	F6h1	+2 cm 远离接收天线方向
F6h1H	前	h_1	水平	F6h1	= 参考位置点(前, h_1)

表 7 S_{VSWR} 测量位置点汇总 (续)

位置点名称	区域	高度	极化方向	d_{ref} 的参考位置点 [参见式(23)]	与参考位置点的关系
F6h1V	前	h_1	垂直	F6h1	=参考位置点(前, h_1)
第一个高度处的中心测试位置(中, h_1) (是否需要, 参见 7.8)					
C1h1H	中	h_1	水平	C6h1	+40 cm 远离接收天线方向
C1h1V	中	h_1	垂直	C6h1	+40 cm 远离接收天线方向
C2h1H	中	h_1	水平	C6h1	+30 cm 远离接收天线方向
C2h1V	中	h_1	垂直	C6h1	+30 cm 远离接收天线方向
C3h1H	中	h_1	水平	C6h1	+18 cm 远离接收天线方向
C3h1V	中	h_1	垂直	C6h1	+18 cm 远离接收天线方向
C4h1H	中	h_1	水平	C6h1	+10 cm 远离接收天线方向
C4h1V	中	h_1	垂直	C6h1	+10 cm 远离接收天线方向
C5h1H	中	h_1	水平	C6h1	+2 cm 远离接收天线方向
C5h1V	中	h_1	垂直	C6h1	+2 cm 远离接收天线方向
C6h1H	中	h_1	水平	C6h1	=参考位置点(中, h_1)
C6h1V	中	h_1	垂直	C6h1	=参考位置点(中, h_1)
第一个高度的右侧位置					
R1h1H	右	h_1	水平	R6h1	+40 cm 远离接收天线方向, 试验空间的最右侧
R1h1V	右	h_1	垂直	R6h1	+40 cm 远离接收天线方向, 试验空间的最右侧
R2h1H	右	h_1	水平	R6h1	+30 cm 远离接收天线方向
R2h1V	右	h_1	垂直	R6h1	+30 cm 远离接收天线方向
R3h1H	右	h_1	水平	R6h1	+18 cm 远离接收天线方向
R3h1V	右	h_1	垂直	R6h1	+18 cm 远离接收天线方向
R4h1H	右	h_1	水平	R6h1	+10 cm 远离接收天线方向
R4h1V	右	h_1	垂直	R6h1	+10 cm 远离接收天线方向
R5h1H	右	h_1	水平	R6h1	+2 cm 远离接收天线方向
R5h1V	右	h_1	垂直	R6h1	+2 cm 远离接收天线方向
R6h1H	右	h_1	水平	R6h1	=参考位置点(右, h_1)
R6h1V	右	h_1	垂直	R6h1	=参考位置点(右, h_1)
第一个高度处的左侧位置					
L1h1H	左	h_1	水平	L6h1	+40 cm 远离接收天线方向, 试验空间的最左侧
L1h1V	左	h_1	垂直	L6h1	+40 cm 远离接收天线方向, 试验空间的最左侧

表 7 S_{VSWR} 测量位置点汇总 (续)

位置点名称	区域	高度	极化方向	d_{ref} 的参考位置点 [参见式(23)]	与参考位置点的关系
第一个高度处的左侧位置					
L2h1H	左	h_1	水平	L6h1	+30 cm 远离接收天线方向
L2h1V	左	h_1	垂直	L6h1	+30 cm 远离接收天线方向
L3h1H	左	h_1	水平	L6h1	+18 cm 远离接收天线方向
L3h1V	左	h_1	垂直	L6h1	+18 cm 远离接收天线方向
L4h1H	左	h_1	水平	L6h1	+10 cm 远离接收天线方向
L4h1V	左	h_1	垂直	L6h1	+10 cm 远离接收天线方向
L5h1H	左	h_1	水平	L6h1	+2 cm 远离接收天线方向
L5h1V	左	h_1	垂直	L6h1	+2 cm 远离接收天线方向
L6h1H	左	h_1	水平	L6h1	= 参考位置点(左, h_1)
L6h1V	左	h_1	垂直	L6h1	= 参考位置点(左, h_1)
第二个高度处的前端位置(是否需要, 参见 8.3.3.5)					
F1h2H	前	h_2	水平	F6h2	+40 cm 远离接收天线方向
F1h2V	前	h_2	垂直	F6h2	+40 cm 远离接收天线方向
F2h2H	前	h_2	水平	F6h2	+30 cm 远离接收天线方向
F2h2V	前	h_2	垂直	F6h2	+30 cm 远离接收天线方向
F3h2H	前	h_2	水平	F6h2	+18 cm 远离接收天线方向
F3h2V	前	h_2	垂直	F6h2	+18 cm 远离接收天线方向
F4h2H	前	h_2	水平	F6h2	+10 cm 远离接收天线方向
F4h2V	前	h_2	垂直	F6h2	+10 cm 远离接收天线方向
F5h2H	前	h_2	水平	F6h2	+2 cm 远离接收天线方向
F5h2V	前	h_2	垂直	F6h2	+2 cm 远离接收天线方向
F6h2H	前	h_2	水平	F6h2	= 参考位置点(前, h_2)
F6h2V	前	h_2	垂直	F6h2	= 参考位置点(前, h_2)
注: S_{VSWR} 测量可以按照任意顺序进行。					

7.6 S_{VSWR} 场地确认——标准试验程序

在后面给出的测试程序中,位置点用 P_{mnopq} 表示,下角标对应表 7 第一列中给出的位置点名称。实测信号 M 是在每个位置点测量接收到的电场或电压,实测信号同样用下角标表示为 M_{mnopq} 。例如, P_{F1h1H} 代表位置 F1,高度 h_1 ,水平极化,而 M_{F1h1H} 代表在该点测量得到的信号(单位: dB)。

- 定位发射源使其参考点与前端区域位置的第 6 点相同,高度 h_1 ,水平极化(P_{F6h1H})。同样以水平极化方式放置接收天线,测量距离为 d , d 是从发射源到接收天线参考点的距离。注意,所有的测量都应将接收天线的高度和发射源置于同样的高度。
- 确认显示的接收到的信号在要测量的全频段内至少比环境噪声和测量接收机或频谱分析仪显

示的噪声高 20 dB。如果无法满足,那么可能需要在全频率范围和/或部分频率范围使用不同的设备(天线,电缆,信号源,前置放大器)以满足超出显示的本底噪声 20 dB 电平要求。

- c) 在每一个频率点,记录实测信号电平 M_{F61H} 。可以使用扫频测量模式,也可以使用步进点频测量模式。如果使用步进点频测量模式,那么频率步长应为 50 MHz 或更小。
- d) 在前端区域位置,高度 h_1 ,水平极化情况下,将发射源移动到表 11(见 7.9)所示的其他 5 个位置点,重复步骤 a)和 b)。在前端区域位置,高度 h_1 ,水平极化情况下,按照表 7 所示的增量改变距接收天线的间隔距离,一共有 6 次测量($M_{F1H} \sim M_{F61H}$)。
- e) 为了得到 $M_{F1HV} \sim M_{F61V}$,将发射源和接收天线的极化方向改为垂直极化,然后对位置点 $P_{F1HV} \sim P_{F61V}$ 重复上面的步骤。
- f) 对于所有的测量,使用式(23)将电场或电压数据归一化到表 7 所示的参考位置点的距离上。

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \lg \left(\frac{d_{mnopq}}{d_{ref}} \right) \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

d_{mnopq} ——接收天线参考点到测量位置点的实际间隔距离。

d_{ref} ——接收天线参考点到参考位置点的实测间隔距离。

M_{mnopq} ——以 dB 为单位表示的实测信号(电场或接收机电压)。注意,每一个测量区域都有一个与其他区域不同的相当于位置点 6 的参考位置点,像表 7 中 P_{mnopq} 表示的那样。

M'_{mnopq} ——将电场或电压数据归一化到表 7 所示的相应参考位置点的距离后的值。

- g) 使用式(21)或式(22)计算水平极化的 S_{VSWR} 。在对 6 个位置点进行完距离修正[例如步骤 f)]后,使用式(22),用接收到的信号的最大值 $M_{max,dB}$ 减去接收到的信号的最小值 $M_{min,dB}$ 得到 $S_{VSWR,dB}$ 。对垂直极化得到的读数重复上面的计算步骤。
- h) 每个极化的 S_{VSWR} 都应满足 7.3.2 的认可准则。
- i) 对试验空间左侧和右侧区域位置重复步骤 a)~h)。注意,当发射源天线移动到左侧或右侧时,应保证其在基准轴线方向对准接收天线。而接收天线仍旧保持对准试验空间的中心(并不对准两侧的位置点),即和以后进行 EUT 测量时接收天线相同的朝向。
- j) 按照 7.8 的要求,如果有需要,对中心位置和对第二高度所需的所有测量重复上面的步骤。在测量第二高度时,接收天线应置于和发射天线同样的高度。

7.7 S_{VSWR} 场地确认——使用全向场强探头的互易测试方法

对于屏蔽的设施(例如 FAR 或 SAC),允许使用全向场强探头来评估 S_{VSWR} ,该场强探头被放置在表 7 所要求的那些位置点,并使用和以后用于辐射骚扰测试的接收天线相同的天线照射试验空间。本标准将这种方法称为互易的 S_{VSWR} 测定方法。在这种互易的 S_{VSWR} 测量方法中,将日后用于 EUT 辐射骚扰测试的接收天线称为“发射”天线,这是因为它将被用于向试验空间内的探头发射。全向场强探头需满足 7.4.2 中对辐射方向图的要求。探头应能够和发射天线的极化方向对齐,例如探头内部的传感元件的位置和方向应已知。

使用全向场强探头的互易的 S_{VSWR} 场地确认方法程序如下。

- a) 将场强探头放置在前端区域位置的点 6,高度 h_1 ,水平极化(P_{F61H})。在测量距离 d 处放置发射天线,测量距离 d 是从试验空间的最前端到天线参考点的距离。发射天线的高度始终和探头的高度相同。
- b) 确认接收到的场强的量级足以使探头正常工作。有关设备的操作指南和建立合适的场强所需的方法,参见探头制造商的操作说明书(足够的灵敏度和适当的测量不确定度)。另外,需要检查发射系统和探头系统的线性度,并且应将谐波抑制到低于主信号至少 15 dB。由于输出功率电平的变化会导致测量结果发生变化,所以推荐使用定向耦合器来监视测试中的前向功率。

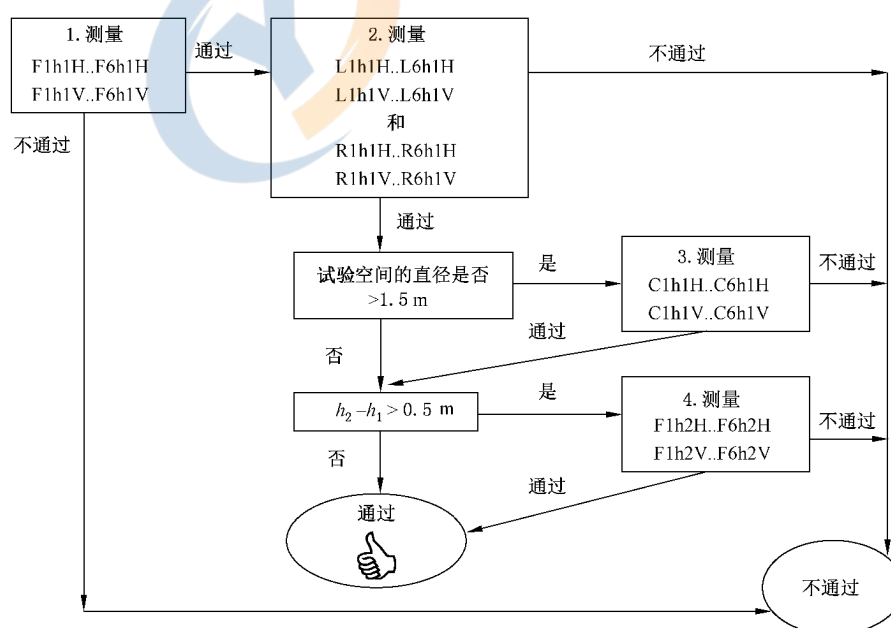
提供稳定的输出信号非常重要,因为任何由信号源的不稳定(例如,电缆连接不当,前置放大器在预热阶段特性改变等)造成的任何信号的变化都会导致测量结果发生额外的变化(例如,虚高的 S_{VSWR} 结果)。

- c) 在每一个频率点记录实测信号电平 M_{F6h1H} 。可以使用扫频测量模式,也可以使用步进点频测量模式。如果使用步进点频测量模式,那么频率步长应为 50 MHz 或更小。
- d) 在前端区域位置,高度 h_1 ,水平极化情况下,将发射源移动到表 8(见 7.9)所示的其他 5 个位置点,重复步骤 c)。在前端区域位置,高度 h_1 ,水平极化情况下,按照表 7 所示的增量改变距接收天线的间隔距离,一共要进行 6 次测量($M_{\text{F1h1H}} \sim M_{\text{F6h1H}}$)。
- e) 为了得到 $M_{\text{F1h1V}} \sim M_{\text{F6h1V}}$,将场强探头和天线的极化方向改为垂直极化,然后重复上述步骤进行 $P_{\text{F1h1V}} \sim P_{\text{F6h1V}}$ 的测量。
- f) 对于所有的测量,使用式(23)将得到的数据归一化。
- g) 使用式(21)或式(22)计算水平极化的 S_{VSWR} 。在对 6 个位置点进行完距离修正(例如步骤 f)后,使用式(22),从最大的接收信号值 $M_{\text{max,dB}}$ 中减去最小的接收信号值 $M_{\text{min,dB}}$ 可以得到 $S_{\text{VSWR,dB}}$ 。对用垂直极化得到的那些读数重复上面的计算。
- h) 两种极化的 S_{VSWR} 都应满足 7.3.2 的场地有效性判定/认可准则。
- i) 对试验空间的左侧和右侧区域位置重复上面的步骤。注意,这种互易的 S_{VSWR} 测量方法需要调整探头使其方向始终对准发射天线的参考点。而发射天线应保持正对着试验空间的中心(不对准两侧的位置),即和以后在进行 EUT 测量时接收天线相同的朝向。
- j) 按照 7.8 的要求,如果有需要,对中心区域位置的测量时,则重复上述步骤;第二高度上所需的测量亦如此。在第二高度进行测量时,探头应与发射天线处于同样的高度。

7.8 S_{VSWR} 有条件的测量位置的要求

如图 23、图 24 和表 7 所示,根据试验空间的尺寸不同,会要求进行附加位置的测试。图 25 给出了何时需要这些附加测量的流程图。

当需要进行附加位置的测量时,按 7.6 或 7.7 给出的程序,在水平极化和垂直两种极化方向上,在每个测试频率点根据每组 6 次独立的测量来确定 S_{VSWR} 。



注: 并不要求按照上图所示的顺序进行测量,只要能够获得所需的数据,可以按任何顺序进行测量。

图 25 S_{VSWR} 有条件的测量位置的要求

7.9 S_{VSWR} 场地确认测试报告

表 8 汇总了所有可能要求的 S_{VSWR} 的测量布置和计算(归一化的)方法,其计算结果包括所要求的位置和 7.8 中满足附加条件的位置。 S_{VSWR} 计算和报告要求适用于每个测试频率点。

表 8 S_{VSWR} 报告要求

位置	高度	极化	类型	$S_{\text{VSWR}}/\text{dB}$
前点	h_1	水平	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{F1h1H}} \cdots M'_{\text{F6h1H}}) - \text{Min}(M'_{\text{F1h1H}} \cdots M'_{\text{F6h1H}})$
前点	h_1	垂直	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{F1h1V}} \cdots M'_{\text{F6h1V}}) - \text{Min}(M'_{\text{F1h1V}} \cdots M'_{\text{F6h1V}})$
右点	h_1	水平	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{R1h1H}} \cdots M'_{\text{R6h1H}}) - \text{Min}(M'_{\text{R1h1H}} \cdots M'_{\text{R6h1H}})$
右点	h_1	垂直	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{R1h1V}} \cdots M'_{\text{R6h1V}}) - \text{Min}(M'_{\text{R1h1V}} \cdots M'_{\text{R6h1V}})$
左点	h_1	水平	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{L1h1H}} \cdots M'_{\text{L6h1H}}) - \text{Min}(M'_{\text{L1h1H}} \cdots M'_{\text{L6h1H}})$
左点	h_1	垂直	要求的	$= \text{Max}(M'_{\text{L1h1V}} \cdots M'_{\text{L6h1V}}) - \text{Min}(M'_{\text{L1h1V}} \cdots M'_{\text{L6h1V}})$
中点	h_1	水平	有条件的	$= \text{Max}(M'_{\text{C1h1H}} \cdots M'_{\text{C6h1H}}) - \text{Min}(M'_{\text{C1h1H}} \cdots M'_{\text{C6h1H}})$
中点	h_1	垂直	有条件的	$= \text{Max}(M'_{\text{C1h1V}} \cdots M'_{\text{C6h1V}}) - \text{Min}(M'_{\text{C1h1V}} \cdots M'_{\text{C6h1V}})$
前点	h_2	水平	有条件的	$= \text{Max}(M'_{\text{F1h2H}} \cdots M'_{\text{F6h2H}}) - \text{Min}(M'_{\text{F1h2H}} \cdots M'_{\text{F6h2H}})$
前点	h_2	垂直	有条件的	$= \text{Max}(M'_{\text{F1h2V}} \cdots M'_{\text{F6h2V}}) - \text{Min}(M'_{\text{F1h2V}} \cdots M'_{\text{F6h2V}})$

7.10 S_{VSWR} 场地评估方法的限制条件

在 7.5 和前述程序中选出的这些测量点是为了在 1 GHz~18 GHz 的频段范围内提供对试验场地的 S_{VSWR} 进行全面测量。但是需要注意的是,并非在所有指定的频率点 f 都能够按 7.6 或 7.7 的方法得到最高的 S_{VSWR} 。因此,需避免在任意单个频率点上基于上述测量方法作出 S_{VSWR} 符合性声明。然而用上述方法得到的峰值在相邻的倍频程($0.5f \sim 2f$)通常可以代表包含在这个频段内所有频率最坏情况的 S_{VSWR} 。

如果希望在单个频率点得到更加精确的 S_{VSWR} 结果,通过沿图 23 和图 24 所示的直线上测量超过 6 个位置点这种方式,可以改进上面给出的方法。追加的数据采集点不宜等距离排列,选择所关注频率的 $1/4$ 波长作为源天线(或互易的 S_{VSWR} 测量方法中的场强探头)距离平移量的依据。

7.11 可替换的试验场地

任何能够满足自由空间条件的测量场地都有可能成为可替换的试验场地。

8 共模吸收装置

8.1 概述

辐射骚扰测量中,共模吸收装置(CMAD)可使用在离开试验空间的连接电缆上。由于不同试验场地上电缆离开试验场地处(例如,转台中心)共模阻抗和对称性的不同,因此,辐射骚扰测量中期望通过使用 CMAD 来减小不同试验场地之间测量结果的变化。CMAD 的基本特性可用 S 参数表示。导出的性能量,例如插入损耗或反射系数,可由 S 参数确定。本章规定了验证 CMAD 的 S 参数的测量方法。

8.2 CMAD 的 S 参数测量

用试验夹具中测得的 S 参数来表征 CMAD 的性能,详见 8.3。在图 27 所示的参考平面上评估复 S

参数。测量 S 参数最准确的参考方法是使用矢量网络分析仪(VNA)和 TRL 校准法,详见 8.4。

8.3 CMAD 的试验夹具

CMAD 的 S 参数测量用的试验夹具应包括金属接地平面上的一根圆柱金属杆,如图 26 所示。试验夹具的垂直法兰之间的金属杆由三部分组成:一部分为两个参考平面之间夹具中的传输线,另外两个部分为参考平面和适配器端口之间的适配器。

为了能够得到不确定度小的最终测量结果,使用 8.4 所规定的 TRL 校准法能够消除适配器本身和适配器端口对 CMAD 测量的影响。任何类型的适配器都可用于 8.4 中的测量。适配器的例子如图 29~图31 所示(见 8.6)。

圆柱杆的直径 d 应为 4 mm。接地平板上的高度 h 由 CMAD 的尺寸来确定。典型值为 30 mm、65 mm 和 90 mm。测量应在 CMAD 结构所确定的高度上进行。参考平面和夹具的垂直法兰之间(适配器)的距离应至少为 $2h$ (见图 26)。参考平面和 CMAD 末端之间的距离 D_A 和 D_B 需尽可能的短,不宜大于 h 。试验夹具下面的金属接地平板的长度应大于 $(L_{\text{jig}} + 4h)$,宽度应大于 $4h$ 。

特征阻抗 $Z_{\text{ref}}(\Omega)$ 由金属杆的内径 d (规定为 4 mm)和接地平板上杆的中心高度 h 表示,见式(24):

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right) \dots\dots\dots (24)$$

式中:

Z_0 ——自由空间的波阻抗(即 120π),单位为欧姆(Ω);

d ——试验导体的直径,规定为 4 mm;

h ——接地平板上试验导体的中心高度。

示例:不同高度 h 时 Z_{ref} 的典型值:

$h = 30 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 204 \Omega$;

$h = 65 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 248 \Omega$;

$h = 90 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 270 \Omega$ 。

8.4 TRL 校准方法

推荐使用 TRL 校准方法用于测量 CMAD 的 S 参数。此校准程序可以选择试验夹具内的参考平面的位置,使得其更接近于受试 CMAD 所在的位置,以尽可能地减小 D_A 和 D_B (见图 26)。校准所使用的金属杆(术语称为“传输线”)的直径和高度需与夹具中传输线的部分相同。传输线部分的特征阻抗和长度应准确地获知,VNA 的固件或外部修正计算所使用的校准数据将会用到该数据。

TRL 校准过程使用的传输线部分的长度确定了 TRL 校准能够进行的频率范围。这种频率限制源于 TRL 校准法中使用的数学程序。在此程序中,某些频率点会出现除数为零(或者非常小的值)的情形,应避免这种情况。

当传输线的参考长度为 L 时,则适用的校准频率范围应位于式(25)和式(26)的最低频率 f_L 和最高频率 f_H 之间:

$$f_L = 0.05 \frac{c}{L} \dots\dots\dots (25)$$

$$f_H = 0.45 \frac{c}{L} \dots\dots\dots (26)$$

式中 c 为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。例如,当传输线的长度为 0.6 m 时,其适用的校准频率范围为 30 MHz~200 MHz。如果测量要扩展至较高频率,则需对另外一条传输线进行校准。此传输线的长度需为 0.12 m,则适用的校准频率范围为 150 MHz~1 000 MHz。

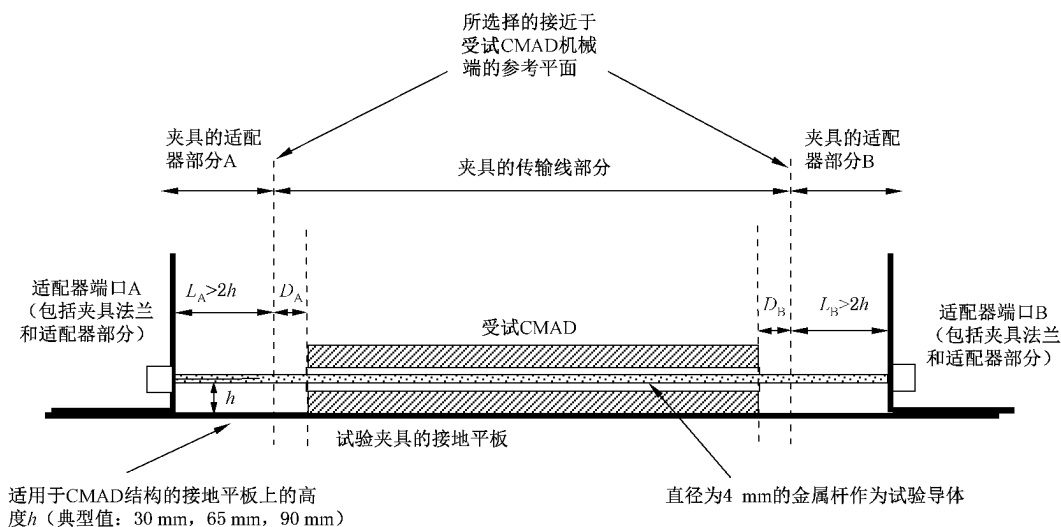


图 26 试验夹具内参考平面的定义

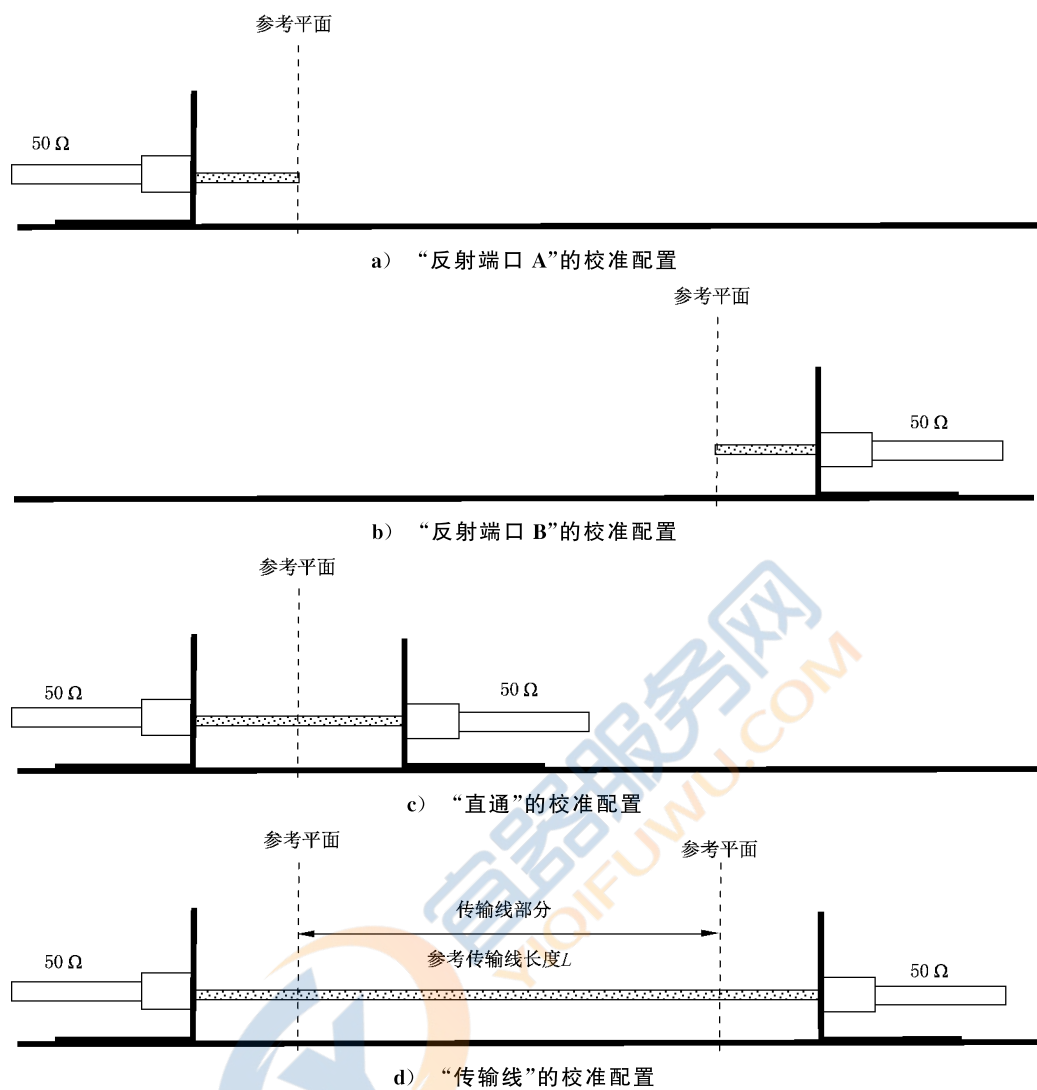
TRL 校准法需包含以下 4 种配置：

- “反射”(端口 A):在不连接其他部分的情况下(模拟开路情况)测量适配器部分和适配器的复值 S_{11} (见图 27a);
- “反射”(端口 B):在不连接其他部分的情况下(模拟开路情况)测量适配器部分和适配器的复值 S_{22} (见图 27b);
- “直通”:在两个适配器部分直接相连的情况下(两部分之间无传输线)测量复值 $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ (见图 27c);
- “传输线”:在引入传输线的情况下测量复值 $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ [见图 27d)]。

对于每个频点,上述校准会得到 10 个复数。如果 VNA 包含 TRL 校准测量固件,则 VNA 需使用这些参考测量对 TRL 测量结果进行修正。如果 VNA 未包含 TRL 校准固件,此时必要的修正需根据 CISPR/TR 16-3 规定的程序来进行而无需使用 VNA。

对于 TRL 校准,不需要已知校准平面外部的适配器部分和适配器端口的性能;更确切地说,在校准程序中已包含这些性能测量,并通过 TRL 校准进行适当的补偿。可以使用不同类型的适配器。在试验夹具的两端推荐使用相同类型的适配器和相同长度的适配器部分,即 $L_A = L_B$ 。

校准后,受试 CMAD 需放置在试验夹具的传输线部分。适配器部分和适配器应和校准时完全相同。金属杆的长度可以和校准时使用的“传输线”的长度不同,但直径(4 mm)和接地平板上的高度应与校准时相同。CMAD 中的金属杆宜尽可能准确地位于其开孔的中心。所选择的金属杆的长度需使得参考平面和 CMAD 的末端重合(即 D_A 需尽可能的小)。CMAD 的典型长度为 0.6 m。在这种情况下,校准时使用 4 mm 的传输线部分适用的频率范围为 30 MHz~200 MHz,同时也适用于此频率范围内的 CMAD 的测量(当使用较短的传输线部分进行校准时也可覆盖 200 MHz 以上的频率范围)。通过 TRL 校准对 VNA 测量进行修正后受试 CMAD 的测量结果为基于传输线部分特性阻抗(夹具为空时) $Z_{0,jig}$ 的 4 个 S 参数。



注：校准时参考传输线的长度 L 不必与测量 CMAD 时的相同。校准程序中需根据所需的频率范围选择参考传输线长度。

图 27 TRL 校准的四种配置

8.5 钳式铁氧体 CMAD 的规范

为了减小符合性不确定度,1 GHz 以下的辐射测量中需使用钳式铁氧体 CMAD。CMAD 的特性需根据 8.1~8.3 进行测量,且以夹具为空时的特性阻抗 $Z_{0,jig}$ 为参考。

比较已有钳式铁氧体 CMAD 的情况表明: S_{21} 的幅值小于 0.25 时能提供足够的去耦。具有图 28 所示的 S_{11} 值的 CMAD 可满足上述要求。

铁氧体 CMAD 应满足以下规范:

- a) 频率范围为 30 MHz~200 MHz 时, S_{21} 的幅值应小于 0.25;
- b) 频率范围为 30 MHz~200 MHz 时, S_{11} 的幅值应在以下限值范围内:
 - 30 MHz 和 200 MHz 时上限值分别为 0.75 和 0.55(随频率的对数线性减小);
 - 30 MHz 和 200 MHz 时下限值分别为 0.6 和 0.4(随频率的对数线性减小)。

由于在 200 MHz~1 000 MHz 频率范围电缆终端不会明显影响辐射骚扰测量,因此在此频段对 CMAD 规范不做要求。

CISPR/TR 16-3 中给出了用 S 参数作为铁氧体 CMAD 规范/性能指标的原理。

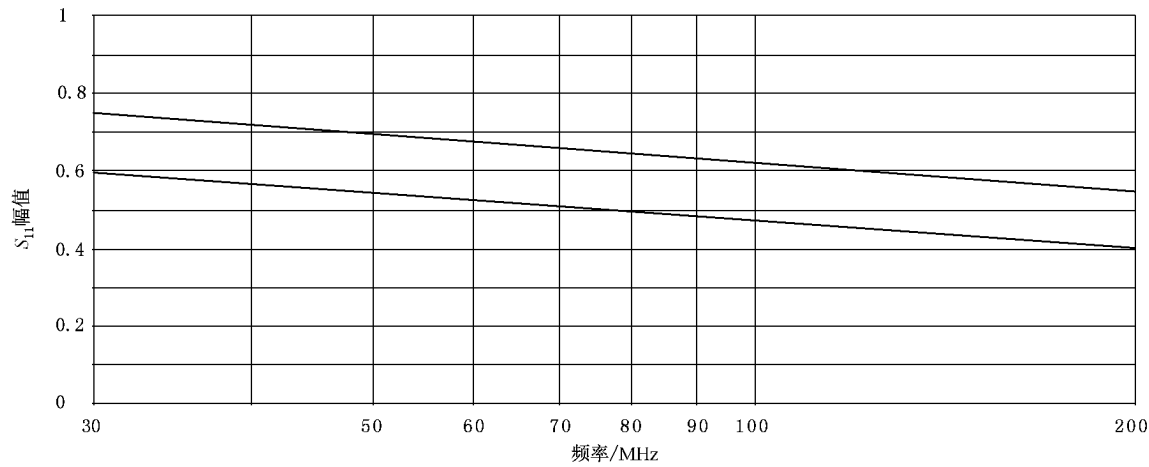


图 28 根据 8.1~8.3 测量的 S_{11} 幅值的限值

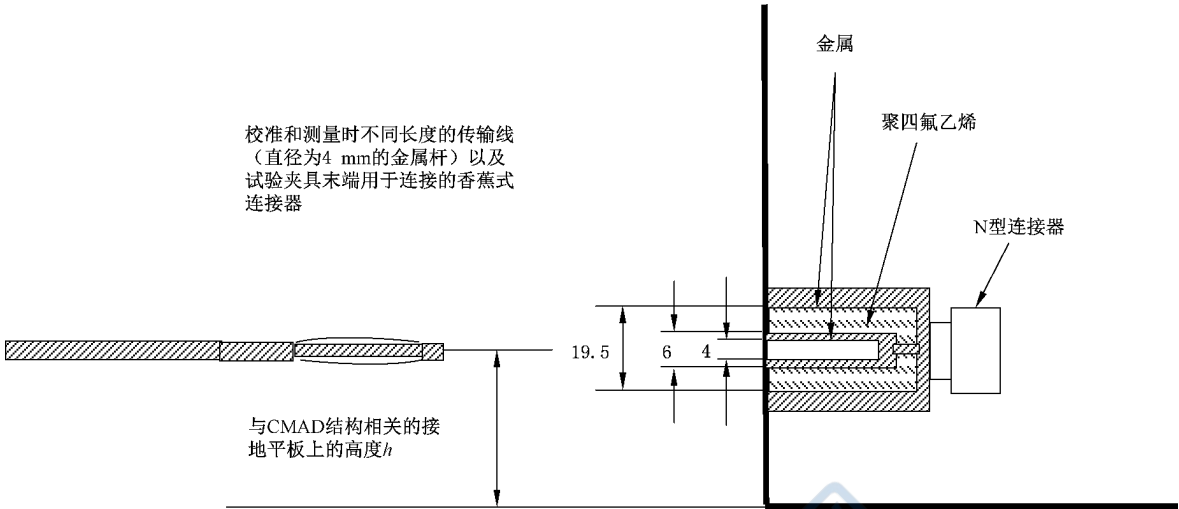
8.6 使用频谱分析仪和跟踪发生器进行的 CMAD 性能(降低)核查

如果没有 VNA 则不能测量 CMAD 的复 S 参数。然而,并非所有的电磁兼容实验室都有 VNA。对于没有 VNA 的实验室,本节规定了一种简单易行的方法,即使用频谱分析仪和跟踪发生器对 CMAD 的性能进行核查。这种仪器配置测量的仅是插入损耗的幅值,这种测量值并不与图 26 所示的参考平面测量的 S 参数直接相关。尽管如此,电磁兼容实验室可在完全相同的条件(试验布置的阻抗和几何尺寸)下使用自己的试验布置周期性地测量插入损耗,然后记录这些值并与之前得到的测量结果进行比较,以确定 CMAD 是否仍满足可接受的条件。通过这种方式可以发现 CMAD 的性能是否降低。当某些性能明显降低时,应通过 8.4 规定的 TRL 校准法使用 VNA 进行参考测量。

任何结构的适配器(见图 26 和图 27、图 29~图 31)都可用于 CMAD 的性能(即性能降低)核查。为了避免试验夹具和测量仪器之间电缆的谐振效应,在这种性能核查的过程中需要在试验夹具连接处加上两个 10 dB 的衰减器。

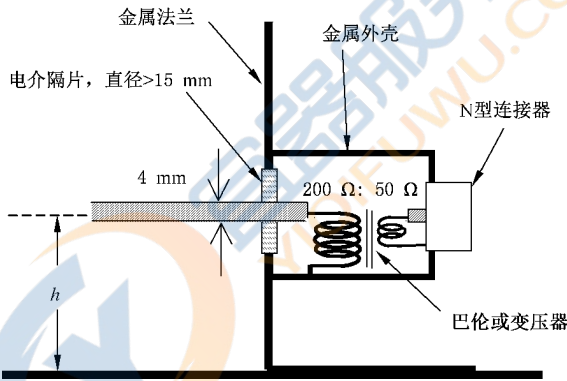
- a) 当使用 50 Ω 的适配器时(见图 29),性能(即性能降低)核查时的插入损耗测量结果为以下两种配置时衰减测量之间的差值(dB):
 - 1) 配置 1:无试验夹具时两个衰减器直接相连;
 - 2) 配置 2:两个衰减器与放置了 CMAD 的试验夹具相连。
- b) 当使用匹配适配器时(见图 30 或图 31),性能(或性能降低)核查的插入损耗测量为以下两种配置时衰减测量之间的差值(dB):
 - 1) 配置 1:两个衰减器与没有放置 CMAD 的试验夹具(夹具为空)直接相连;
 - 2) 配置 2:两个衰减器与放置了 CMAD 的试验夹具相连。

单位为毫米



注：垂直法兰的底边需与金属接地平板进行电搭接。

图 29 试验夹具垂直法兰中 50 Ω 适配器的结构示例



注：当平衡端口的中心抽头连接到巴伦的外壳上时,需将其断开。

图 30 具有巴伦或变压器的匹配网络示例

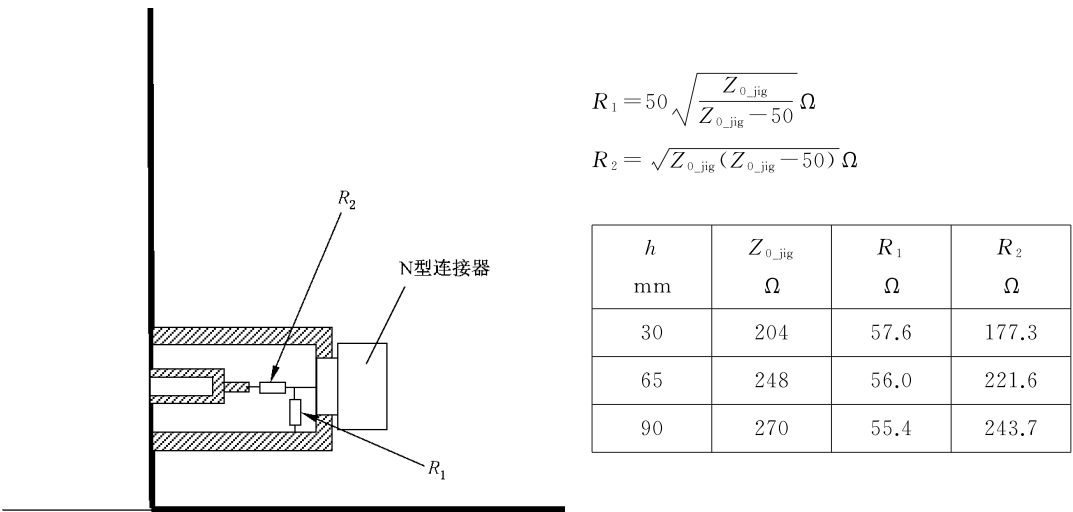


图 31 具有阻性匹配网络的匹配适配器示例

9 用于总辐射功率测量的混响室

9.1 概述

对一些工作在微波频率范围的设备,由于存在易受设备工作条件及其周边环境复杂三维场分布的影响,因此辐射总功率的测量被认为是与骚扰控制有关的重要参数。可将设备放置于一个金属墙面的合适腔体中测量,为了避免驻波效应在腔体内产生的非均匀电磁能量密度分布,腔体内安装有搅拌器。在适当的(搅拌器)尺寸、形状和位置条件下,腔体中任意位置上的能量密度随相位、幅值和极化按固定的统计分布规律随机变化。

9.2 腔体

9.2.1 尺寸与形状

混响室的线尺寸应大于最低频率所对应的波长。它还应该足够大以容纳 EUT、搅拌器和测量天线。微波设备的尺寸小到体积约为 0.2 m³ 的台式烤箱,大到高为 1.7 m、底座为 760 mm 的大型装置。混响室的形状除三维尺寸为相同数量级外没有特别要求,且三维尺寸最好是不同的。若最低测量频率为 1 GHz,那么要求混响室的体积至少为 8 m³。混响室的实际尺寸最终取决于其物理特性。混响室的适用性测量方法见 9.2.4。

混响室的墙壁和搅拌器均应为金属的。各金属部件之间机械连接应很好且沿整个长度方向具有很低的电阻。各连接部件的表面应无腐蚀。混响室内不放置如木材等吸波材料。

9.2.2 门、墙壁开孔和安装支架

混响室的门应足够大以容纳操作者和设备的进出。门应朝外开,且应安装紧密以使能量的泄露最小。为方便混响室内发射天线与接收天线的安装,安装支架可固定在混响室的内壁上。

9.2.3 搅拌器

9.2.3.1 概述

以下描述了两种搅拌器的例子。其他形状的搅拌器在搅拌效率满足 9.2.4 规定的条件下也是允许的。

9.2.3.2 旋转翼

若使用旋转翼,那么两个翼片安装在混响室内相邻的两个墙面上,与墙面相距至少 $1/4$ 个最大使用波长,翼片需具有足够的厚度以保证结构强度。旋转翼应选取壁面尺寸允许的最大长度,其宽度通常为长度的 $1/5$ 。

单位为毫米

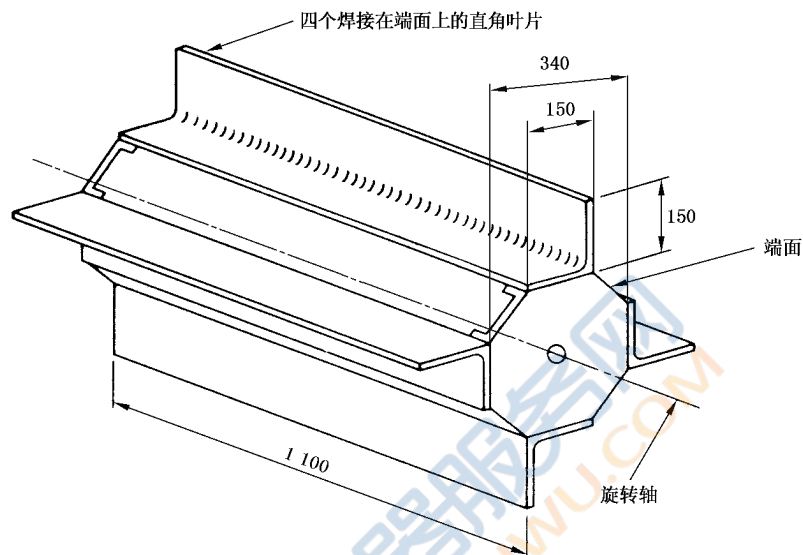


图 32 典型的桨叶搅拌器示例

9.2.3.3 旋转桨

若使用旋转桨,那么可在混响室墙壁上安装 2 个~3 个旋转桨叶。桨叶间互成直角,旋转桨的形状可参见图 32,围绕与其长度方向平行的轴旋转。旋转筒状空间的直径应至少等于最大使用波长,且长度应为墙面尺寸所允许的最大尺寸,结构上应保证一定的强度。

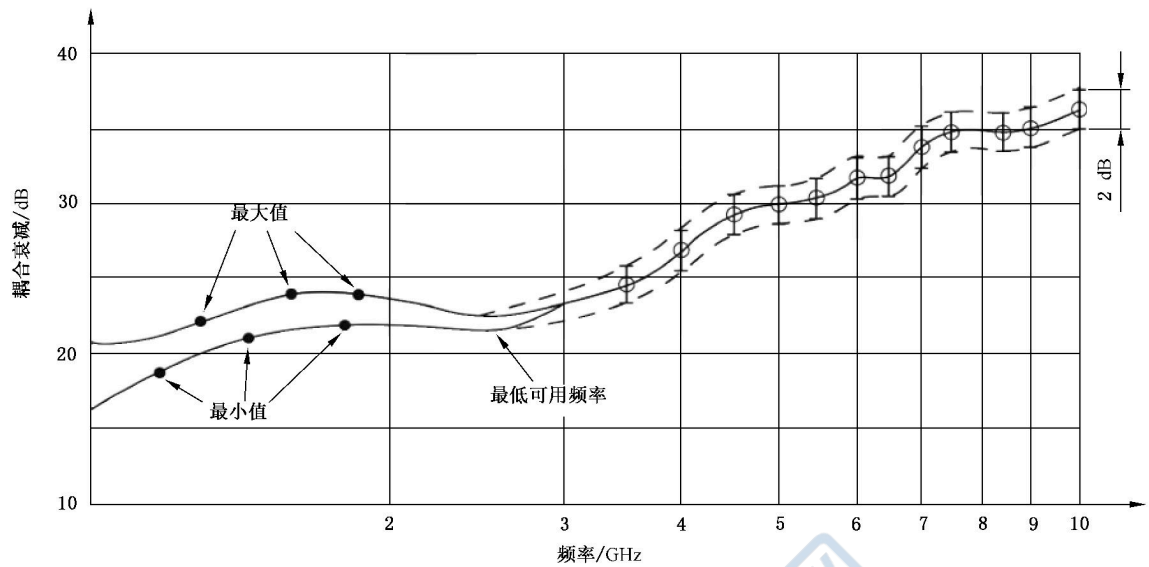
9.2.3.4 旋转速度

各个搅拌器的旋转速度应不同。旋转一周的最长时间应小于测量仪器测量时间之和的 $1/5$ 。对于 9.2.5 中所描述的测量设备,转速在 50 r/min 和 200 r/min 之间较为合适。用于驱动搅拌器的电动机,连同其减速装置,最好安装在混响室的墙外。

9.2.4 搅拌器效率的试验

混响室中所期望的能量的均匀分布由耦合衰减(在 9.2.5 中描述)随频率变化的平滑性来表示。在低频段,由于波长较长,更难获得这种均匀性,耦合衰减存在明显的最大值和最小值。搅拌器的效率越高,随频率变化的最大值和最小值之差就越小,从而使可用频率更低。

在混响室的整个可用频段上测量耦合衰减,在可观察到最大值和最小值的低频段,应间隔 100 MHz 测量一个点。然后接收天线保持固定,发射天线以 45° 的间隔进行旋转,在上述每一个位置、每一个频率点上重复进行测量。之后将接收天线旋转 90° ,重复整个测量过程。当搅拌器满足下列条件时可认为是满足要求的。(1) 发射天线在任何位置时,曲线的最大值和最小值包络不超过 2 dB。(2) 四条曲线的平均值在 2 dB 的包络之内或更小。如图 33 所示为典型的测量结果。



注：所有测量点均需落在以虚线表示的 2 dB 包络内。

图 33 使用如图 32 所示搅拌器的混响室的耦合衰减随频率的变化范围

9.2.5 耦合衰减

混响室的耦合衰减是指在混响室内发射天线和接收天线的终端之间测得的插入损耗。用一个输出功率可被精确测量的校准信号源对一个低损耗的发射天线(例如,喇叭天线)进行馈电,发射天线位于混响室内或安装在墙壁上。接收天线可位于混响室内的任意位置,但距离墙面至少 1/4 波长,并不指向发射天线、不指向最近的壁面或不与混响室的任一轴线平行。

一台低噪声射频放大器通过一个高通滤波器和接收天线相连,其输出端通过一个带通滤波器和二极管检波器相连。带通滤波器应调谐至所关注的频率,且位于特定的带宽内。检波器的输出信号连接到一个具有特定的峰值保持时间(保持时间取决于 EUT)的峰值电压表上。也可选用频谱仪进行该项测量。发射天线所吸收的功率记为 P 。然后信号发生器连接到低噪声放大器的输入端,调整信号发生器的输出功率 p ,使峰值电压表指示相同的读数,记下低噪声放大器所吸收的功率,耦合衰减即为 $10\lg(P/p)$ dB。

10 用于辐射骚扰抗扰度测量的 TEM 小室

可在 TEM 波导中按 IEC 61000-4-20 规定的方法进行辐射抗扰度测量^[22]。

附录 A

(规范性)

天线参数

A.1 概述

各种 CISPR 出版物规定了用于测量的特定天线。其他类型的天线若能获得与特定天线相同的测量结果则也可使用。通过规定合适的参数,可对这些天线和特定天线进行比较。这些参数应作为 CISPR 接受新型天线的部分依据。天线制造商也应使用这些信息作为规定辐射骚扰测量用的天线最有效的指南。

要求制造商提供每一种型号天线的包括以下参数的通用信息:

- 50 Ω 系统中的自由空间天线系数;
- 反射损耗或 VSWR;
- 能表明显著变化的足够小的频率间隔上的辐射方向图(包括波瓣宽度信息);
- 天线在 1 m~4 m 高度扫描时,考虑由于天线和接地平板之间的互耦导致的实际天线系数与自由空间天线系数存在偏差时,与频率相关的不确定度;
- 巴伦的差模/共模转换,尤其是对于双锥天线和复合天线;和
- 交叉极化响应,尤其是对于 LPDA 天线和复合天线。

A.2 优先推荐使用的天线

A.2.1 概述

当出现所谓的不符合电场限值的情况时,需优先使用不确定度小的天线的测量结果。所谓不确定度小的天线是指,在 CISPR 的试验布置中其场强测量的不确定度要小于满足 4.1 中场强准确度准则的其他天线。A.2.3 中规定了不确定度小的天线。

A.2.2 可计算天线

可计算的标准偶极子天线用于电场测量时的不确定度最小。其自由空间和有明确规定的接地平板上任意高度和极化方向上的天线系数都可通过计算得到。CISPR 16-1-5 中规定了可计算的标准偶极子天线的原理,但仅限于谐振条件。然而,通过广泛使用的数值计算电磁建模,可计算出单一长度的偶极子天线宽频带内的天线系数,其不确定度优于 ± 0.3 dB。例如,对于 30 MHz 的电场测量,可使用谐振在 80 MHz 的偶极子天线。这个原理可扩展到由多根振子构成的天线,这类天线能覆盖更宽的频段。

A.2.3 不确定度小的天线

不确定度小的天线为双锥天线和 LPDA 天线,其基本参数在下段规定。其为宽带天线且具有良好的灵敏度,即其天线系数不太大。也可使用可计算天线,因其具有不确定度最小的优势。交叉极化响应应满足 4.5.5 的要求,巴伦应满足 4.5.4 的要求。天线系数应由能溯源到国家标准的校准实验室来确定,确定天线系数时应尽可能地将不确定度减到最小。

认可的天线类型:用于 30 MHz~250 MHz 的双锥天线和用于 250 MHz~1 GHz 的 LPDA 天线,之所以选择 250 MHz 过渡频率是因为 LPDA 天线的长度导致存在相位中心误差,但从 250 MHz 起此误差将会减小;此外,除非使用开路结构的振子(便携式或折叠式),否则大多数的双锥天线在 290 MHz 以上会受到谐振的影响,260 MHz 以上时辐射方向图会畸变。双锥天线和 LPDA 天线之间的过渡频率位于 200 MHz~250 MHz 之间,在 250 MHz 以下,LPDA 天线相位中心的不确定度会有所增加,见 CISPR 16-1-6:2014 的 A.4.2。与双锥天线和 LPDA 天线相比,覆盖 30 MHz~1 000 MHz 整个频率范围的复合天线,主要由于其天线更长,其不确定度更大,尤其是距离发射源 3 m(和 10 m 相比)时,因此

复合天线不能作为优先使用的天线。

不确定度小的双锥天线,其振子端到端的长度近似为 $1.35\text{ m} \pm 0.03\text{ m}$ (取决于巴伦的宽度),六根导线振子构成锥形,锥形的最大直径近似为 0.52 m 。巴伦应为 $200\ \Omega$ ($200\ \Omega$ 到 $50\ \Omega$ 的变比),以确保 30 MHz 时具有较好的灵敏度及其与环境之间较小的互耦合。

注:双锥天线的原型设计见 MIL-STD-461A^[7],其工作频率范围为 $20\text{ MHz} \sim 200\text{ MHz}$ 。在 250 MHz 以上时,振子的折叠设计性能要优于振子的封闭“笼形”设计。

不确定度小的 LPDA 天线的工作频率下限为 200 MHz ,其对应最长振子的长度约为 0.75 m ,最长振子与最短振子之间的长度在 $0.75\text{ m} \pm 0.12\text{ m}$ 之间,最短振子对应的谐振频率可达 1 GHz 以上。没有选择 250 MHz 作为最长振子的原因是它不受其他阵列振子的限制,从而波瓣图会畸变。长度为 0.75 m 的 LPDA 天线与长度为其两倍的其他 LPDA 天线的区别在于,后者能实现较高的增益但同时具有较大的相位中心误差;长度小于 0.6 m 的 LPDA 天线不可能具有随频率平滑和单调增加的天线系数(天线系数在整个频率范围内不存在与回归线的偏差大于 1.5 dB 的急剧增加)。通过考虑天线到 EUT 的距离对测得的场强进行修正,可使 LPDA 天线的相位中心引入的误差最小;见 GB/T 6113.203—2020 的 7.3.1。

A.3 简单的偶极子天线

A.3.1 概述

当实验室无法得到已校准的天线时,可用偶极子天线代替,天线形式可以是可计算偶极子也可以是调谐偶极子。和 A.2 规定的天线相比,调谐偶极子的结构要简单得多,场强测量时的不确定度也小。调谐偶极子的天线系数应通过以下方式来验证:通过能溯源到国家标准且尽可能减小天线系数不确定度的校准实验室,或通过测量接地平板(符合附录 D 的要求)上一对相似偶极子之间的场地插入损耗,然后与考虑了巴伦的计算耦合相比较,见 CISPR 16-1-5:2014 的附录 C。调谐偶极子的缺点是在较低频率时天线长度较长,例如 30 MHz 时其长度为 4.8 m ,当测量距离为 3 m 时,会产生由幅度和相位之间的梯度引入的误差。同时,当偶极子天线处于调谐状态时,它对周围的环境最敏感,因此,对于调谐在 30 MHz 的水平极化的偶极子天线在接地平板上 $1\text{ m} \sim 4\text{ m}$ 的高度扫描时,其与接地平板上镜像之间的互阻抗会使天线系数的改变达 6 dB 之多。基于这个原因,当频率低于 80 MHz 时,推荐使用调谐到 80 MHz 的短偶极子天线。

A.3.2 调谐偶极子

一个实际的、设计简单的调谐偶极子为半波谐振偶极子,具有串-并联的同轴短线巴伦。振子端到端的长度近似为 0.48 个波长,其大小取决于偶极子振子的半径。自由空间的天线系数可由式(A.1)计算得到,单位为分贝(dB)。该式并没有考虑巴伦的损耗,其平均损耗为 0.5 dB ,需将该值添加到天线系数当中,并应进行验证。天线系数见式(A.1):

$$F_a = 20\lg(f_M) - 31.4 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

f_M ——频率,单位为兆赫兹(MHz)。

与宽带天线(除了在其谐振频率,也不包括 LPDA 天线)相比,调谐偶极子对其周围的环境要更加的敏感。因此,使用调谐偶极子的总不确定度不可能比使用 4.5.2 所规定的不确定度小的天线时小。

A.3.3 短偶极子

下列条件可使用短于半波长的偶极子:

- 天线总长度大于测量频率的十分之一波长($\lambda/10$);
- 用匹配良好的电缆将天线与测量接收机连接起来,以确保电缆输入端的反射损耗大于 10 dB 。校准时应考虑反射损耗;
- 这种天线需与调谐偶极子具有同等的极化鉴别能力(见 4.5.3),为了达到此目的,使用满足 4.5.4 中巴伦不平衡试验的巴伦;

- d) 为了确定被测场强,需在规定的距离(即至少在 3 倍于偶极子长度的距离上)确定并使用同一条校准曲线(天线系数);

注:这样得到的天线系数需满足测量均匀正弦波电场的准确度不劣于 ± 3 dB 的技术要求。图 A.1 给出了校准曲线的示例。它表示了对不同的 l/d , 输入阻抗为 $50\ \Omega$ 的测量接收机的输入电压与场强的理论关系。在这些曲线中,巴伦被认为是理想的 1:1 转换器。然而,需注意到这些曲线中并未将巴伦、电缆以及电缆和测量接收机之间的失配所引起的损耗考虑进去。

- e) 尽管由于偶极子的缩短提高了天线系数,导致场强仪灵敏度的降低,但是场强仪的测量下限(例如由测量接收机的噪声和偶极子的传输系数确定)仍应保证比被测信号电平至少低 10 dB。

A.4 宽带天线参数

A.4.1 概述

CISPR 测量使用的宽带天线是线极化且具有很宽频率范围的天线。但它不排斥使用调整有限长度和增加天线单元的天线。这些天线的典型输入阻抗是一个复数。其他参数在下面规定。

A.4.2 天线类型

A.4.2.1 概述

A.4.2.2~A.4.2.7 描述了需提供的宽带天线的物理参数,注意有一些参数并不适用于每副天线。

A.4.2.2 固定或可变长度/直径的天线类型

如果天线长度可变,那么应规定其改变基本固定长度所增加或减小的部分。

注:可全调谐的天线不被认为是宽带天线,因此不在此规定范围内。环天线的直径一般不变。

A.4.2.3 长/宽比或环的直径

以米为单位,例如对于 LPDA 天线,需提供沿测量轴线的天线长度和最大振子的宽度。

A.4.2.4 有源或无源天线

宽带天线如果包含放大器、预放大器和其他放大信号和/或影响频响的非线性有源装置,则被认为是无源天线。

A.4.2.5 安装要求

不是安装在天线塔或三脚架上的天线需提供安装要求。

A.4.2.6 连接器类型

规定了 BNC、N、SMA 等适用类型。规定了插针长度的允差和状态,可用插针量规来校验。

A.4.2.7 巴伦类型

规定了转换器是分立的、分布式的、可调谐的等。规定了巴伦的变比。

A.4.3 天线规范

A.4.3.1 频率范围

天线按其特性工作的频率范围以兆赫兹(MHz)或千赫兹(kHz)为单位。如果在频率范围两端的任一端存在以 dB/倍频程呈现的性能下降,则可以据此对天线的频率范围做出规定。

A.4.3.2 增益和天线系数

A.4.3.2.1 增益

相对于全向辐射体(dBi)的典型或实际增益,以分贝(dB)为单位。

A.4.3.2.2 天线系数

$R_L=50\ \Omega$ 时短偶极子的天线系数见图 A.1。

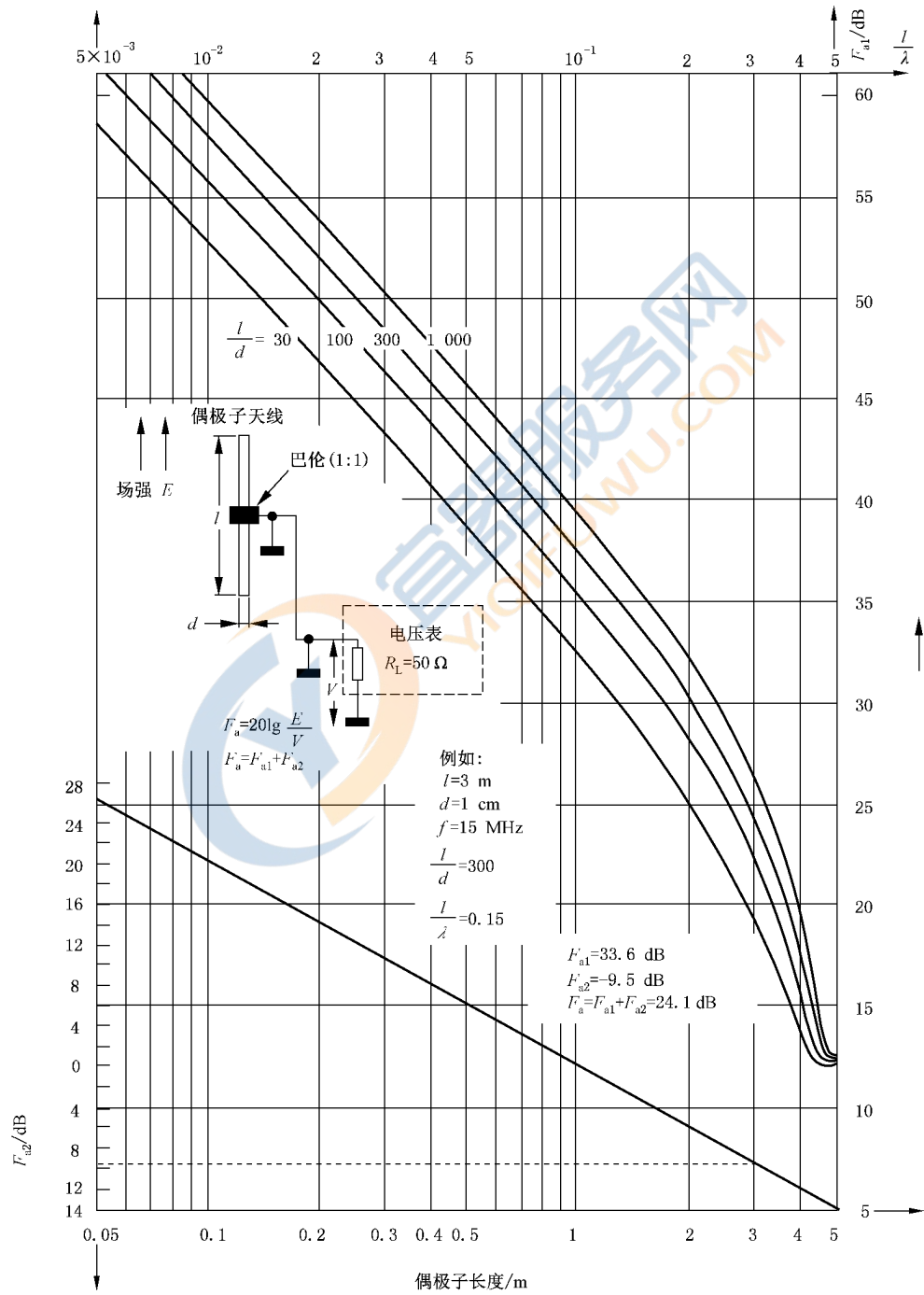


图 A.1 $R_L=50\ \Omega$ 时短偶极子的天线系数

每副天线的天线系数,以分贝每米[$\text{dB}(\text{m}^{-1})$]为单位。天线校准程序见 CISPR 16-1-6。

A.4.3.3 线极化的方向性和方向图

为了体现方向性在频率上有大的变化,规定要在足够的频点数以 E 面和 H 面的极坐标图来表示的方向图和用角度表示的方向性。对于方向性相对较低的天线(如低于 6 dBi),规定以 dB 为单位的前后比,如果是全向的(如赫兹偶极子的方向图),则应予以说明。

A.4.3.4 VSWR 和阻抗

标明最小的回波损耗和标称的输入阻抗(Ω),此外,最小的回波损耗可用最大的 VSWR 表示。

A.4.3.5 有源天线性能

对于具有有源放大增益的天线,应规定交调产物电平、对外界骚扰的电场和磁场抗扰度电平,及确定过载或不恰当操作的任何适当的检查方法。

A.4.3.6 可承受功率

对用于抗扰度试验的发射天线应规定一个最大和瞬态可承受的发射功率(W)。

A.4.3.7 其他条件

如果天线需在全天候无防护的条件中使用,应规定天线必需工作的温度和湿度以及应采取的任何防护措施。

A.4.4 天线校准

天线校准方法见 CISPR 16-1-6。

A.4.5 天线用户的信息

A.4.5.1 天线的使用

提供一份天线的使用说明书,使预防措施或限制条件得到保证以减少使用者误操作的机会。

A.4.5.2 物理制约

在使用天线时如果存在任何物理上的限制应标明,如:

- 离地面的最小高度;
- 相对于接地平板的优选的极化方向;
- 特殊用途,即只能作为发射天线或接收天线使用。一般情况下,这取决于无源天线巴伦的功率承受能力或有源天线的单向辐射特性。如果功率受限是由于非焊接天线部件连接之间产生电弧所导致的,则应对该情况加以说明;
- 简单的欧姆检查以确定天线的连续完整性;
- 最近的天线部件与 EUT 之间的最小距离。

附 录 B

注：为与等同标准 CISPR 16-1-4:2019 保持结构上的一致性，特保留附录 B 标题，以满足等同标准的制定和修订原则。



附录 C

(规范性)

用于在 9 kHz~30 MHz 频率范围内测量磁场感应电流的大环天线系统

C.1 介绍

本附录给出了大环天线系统(LLAS)的相关信息和数据,该 LLAS 用于测量由单台 EUT 发射的磁场所感应的电流,EUT 置于 LLAS 的中心,频率范围为 9 kHz~30 MHz。4.7 以及 GB/T 6113.203 对 LLAS 也有涉及。同时见参考文献[9]。

本附录对 LLAS 以及 LLAS 中的天线有效性验证方法进行了描述,给出了磁场感应电流和磁场强度之间的转换系数,磁场强度可用距 EUT 一定距离处的单个磁场环天线来测得。

C.2 环形天线系统的构成

如图 C.1 所示,LLAS 包括三个相互垂直的大环天线,具体结构在 C.3 中描述。整个 LLAS 由一个非金属的底座支撑。

大环天线(LLA)的电流探头和同轴转换器之间,以及该转换器和测量设备之间的 50 Ω 同轴电缆的表面转移阻抗在 100 kHz 时应小于 10 m Ω /m,在 10 MHz 时应小于 1 m Ω /m。当使用如 RG223/U 之类的双层编织屏蔽电缆时可满足上述要求。

所有连接器的表面转移阻抗应可以和同轴电缆的转移阻抗相比拟。当使用诸如 BNC 卡锁型的高质量连接器时可满足上述要求(见参考文献[1])。

所有电缆均应装配铁氧体吸收环,如图 C.1 中所示的标记 F,以提供一个 10 MHz 时 $R_s > 100 \Omega$ 的共模串联阻抗。诸如 12 个 3E1 型铁氧体环(最小尺寸:外径 29 mm×内径 19 mm×长度 7.5 mm)构成的铁氧体管可满足上述要求。

C.3 大环天线(LLA)的结构

构成 LLAS 中的 LLA 的同轴电缆的表面转移阻抗已在 C.2 中规定,此外,LLA 的内导体阻抗应足够低(见注 1)。当使用例如 RG223/U 之类的双层编织屏蔽电缆时可同时满足上述两项要求。

为使 LLA 保持圆形,同时也为了保护天线的缝隙结构,电缆被插入一个非金属的薄壁管中,管的内径约为 25mm,如图 C.2 中的示例所示。也可采用功能相同的其他非金属结构。

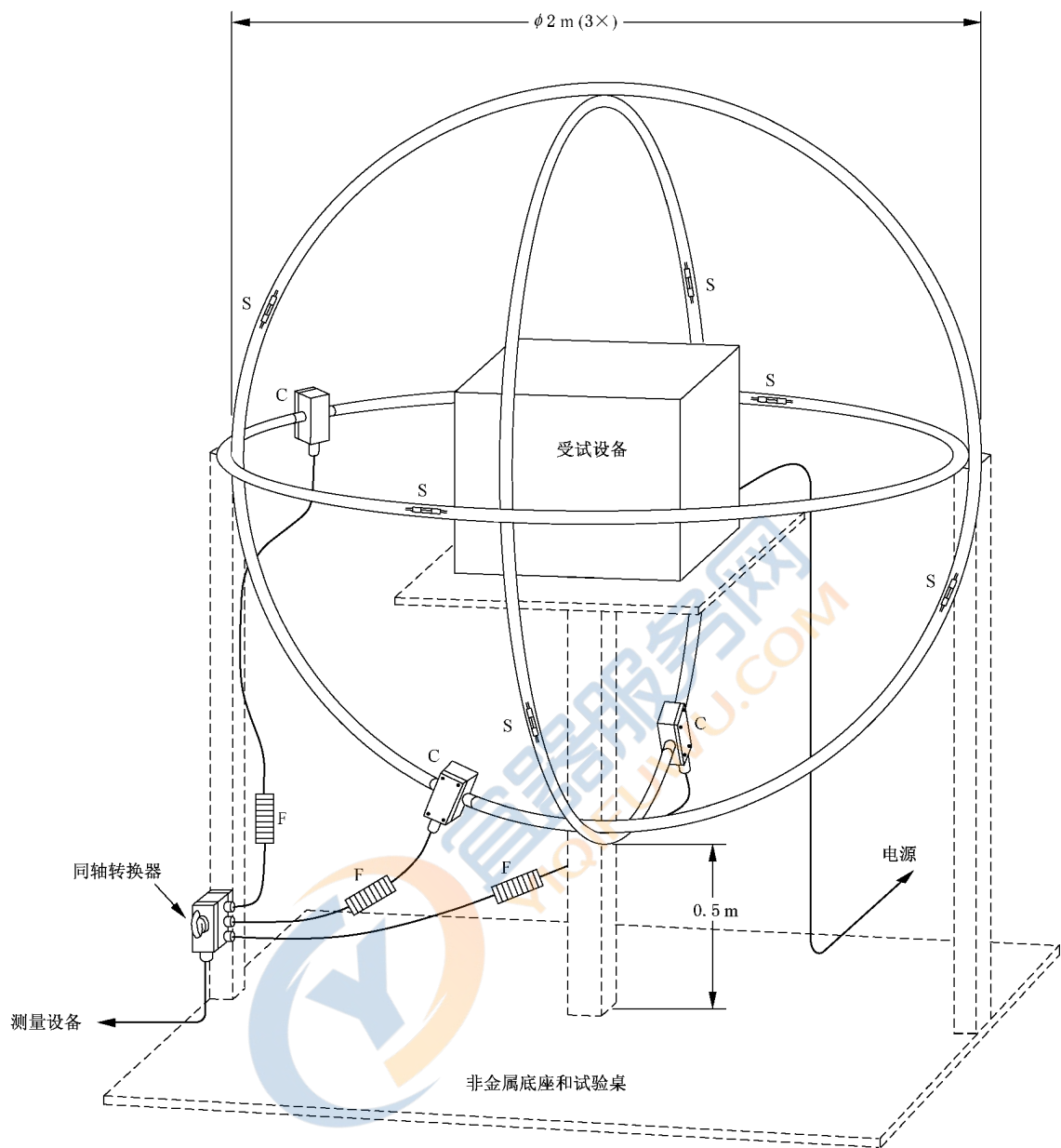
LLA 的标准直径 D 为 2 m。如果有必要,例如对于大尺寸 EUT 的情况,该直径可以增加。但在 30 MHz 以下的频率范围,最大允许的直径为 4 m。直径继续增加会在测量频率范围的高频端引起 LLA 不可复现的谐振响应。

需注意的是:随着直径的增加,LLA 对环境噪声的灵敏度成正比地增加,而对有用信号的灵敏度则与直径的平方成反比。

LLA 包含两个互相面对面的且相对电流探头对称分布的天线缝隙(如图 C.2 所示)。这种缝隙由同轴天线电缆的外导体制成,其宽度应小于 7 mm。缝隙跨接两组并列的 100 Ω 的串联电阻器,每个串联电路的中心与同轴天线电缆的内导体相连,如图 C.3 所示。

在缝隙的每一侧,同轴天线电缆的外导体可搭接在带有两块长方形铜片的印制电路板上,两块铜片相距至少为 5 mm,以保证天线的缝隙结构紧固(见图 C.4)。

围绕同轴天线电缆内导体的电流探头在 9 kHz~30 MHz 频率范围内应具有 1 V/A 的灵敏度。电流探头的插入损耗应足够低(见注 1)。



标引序号说明：
S —— 天线缝隙；
C —— 电流探头；
F —— 铁氧体吸收环。

图 C.1 由三个相互垂直的 LLA 构成的 LLAS

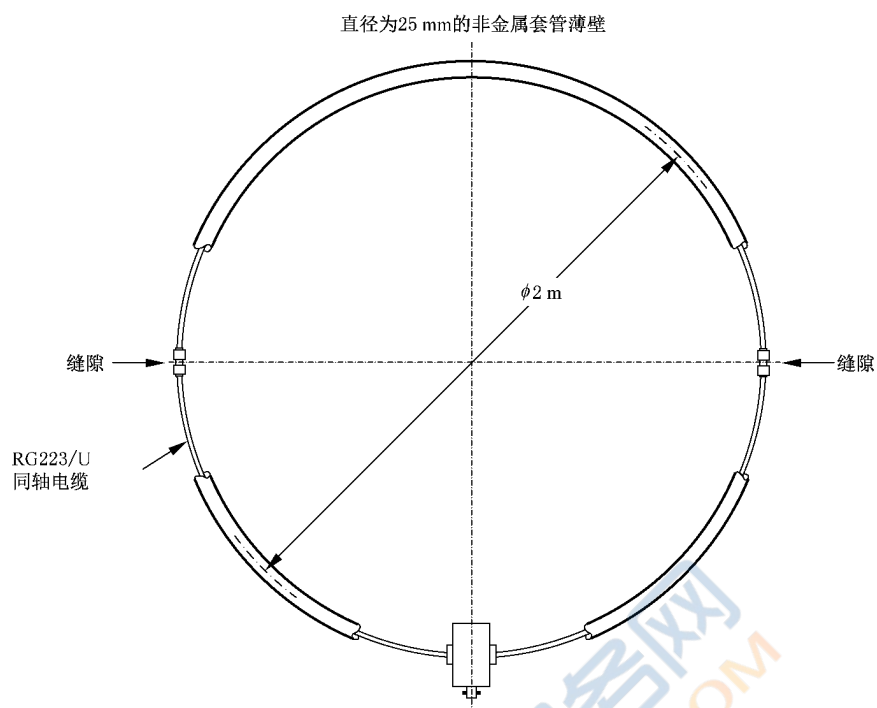


图 C.2 包含两个互相面对面的且相对电流探头对称分布的天线缝隙的 LLA

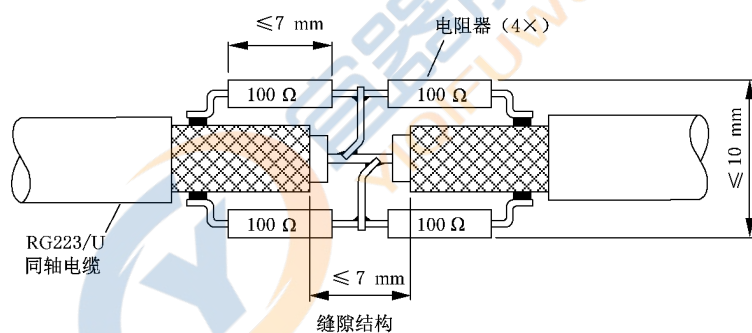


图 C.3 LLA 缝隙的结构示意图

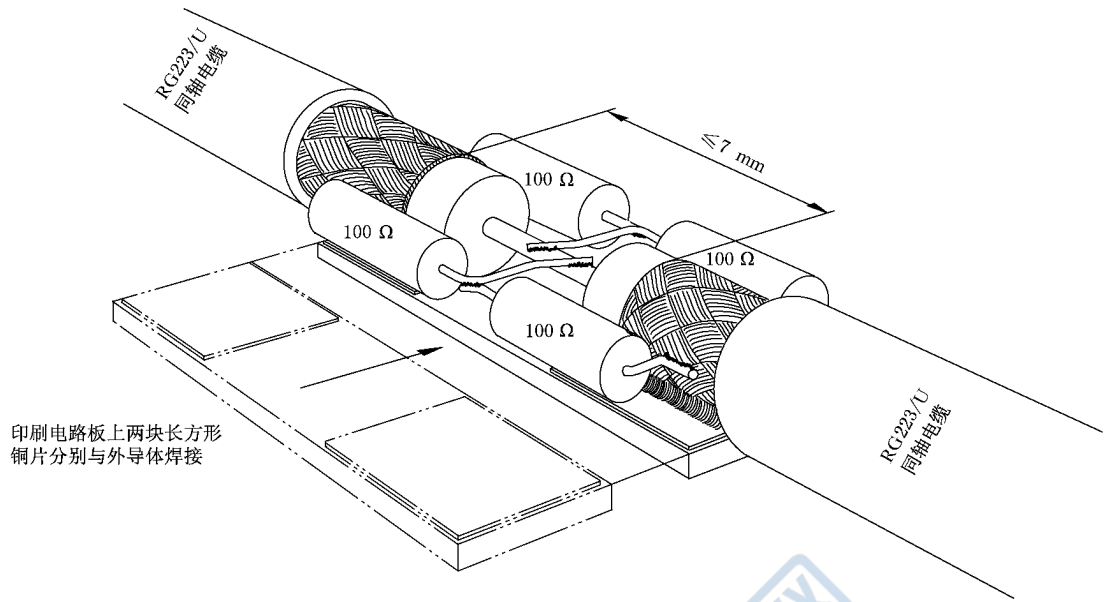


图 C.4 使用印刷电路板加固结构的 LLA 缝隙结构示例

电缆的外导体应焊接在装有电流探头的金属盒上(见图 C.5)。该金属盒的最大尺寸为:宽 80 mm,长 120 mm,高 80 mm。

注 1: 为使 LLA 在 9 kHz~30 MHz 频率范围的低端具有平坦的频率响应,电流探头的插入损耗 R_c 在 $f=9 \text{ kHz}$ 时需远小于 $2\pi fL_c$, 其中 L_c 表示电流探头的电感。此外, 9 kHz 时需满足 $(R_c+R_i) \ll X_i=2\pi fL$, 其中 R_i 为环天线的内导体的电阻, L 为环天线的电感, 该电感值沿圆周约为 1.5 H/m, 因此对于一个标准的 LLA, $f=9 \text{ kHz}$ 时, $X_i=0.5 \Omega$ 。

注 2: 为避免在 EUT 和 LLA 之间的寄生电容耦合, EUT 和 LLA 组件之间的距离至少需为环直径的 0.10 倍。特别要注意 EUT 的引线。电缆需布在一起, 与环天线所在空间的夹角为相同的 45° , 与 LLAS 任何一个环的距离不小于 0.4 m(如图 C.6 所示)。

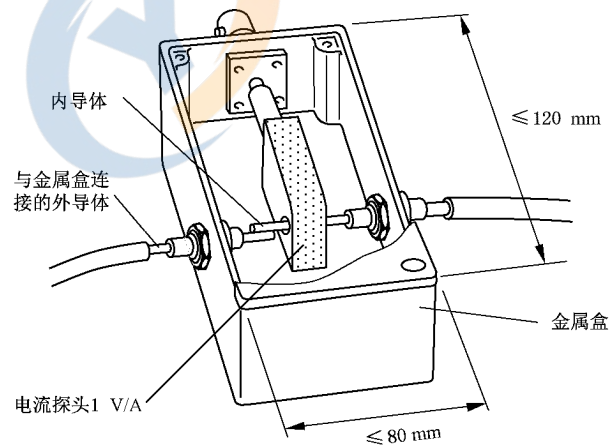


图 C.5 装有电流探头的金属盒结构示意图

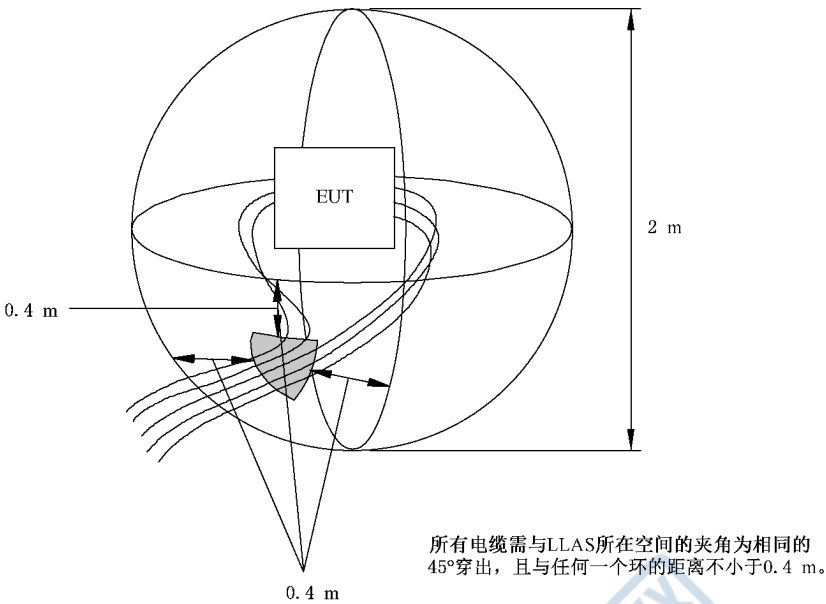


图 C.6 确保引线和 LLAS 之间无电容耦合的 EUT 电缆布线示例

C.4 LLA 的确认

LLAS 中 LLA 的确认和校准是利用一个与 $50\ \Omega$ 的射频信号源相连的验证偶极子天线来测量 LLA 中的感应电流,如 C.5 中所描述的。由该偶极子天线所辐射的磁场可用于验证 LLA 的磁场灵敏度。通过 LLA 对验证偶极子天线发射的电场的接收表明其对电场的灵敏度是足够低的。

如图 C.7 所示,作为频率函数的感应电流的测量应在 $9\ \text{kHz}\sim 30\ \text{MHz}$ 频率范围,选取验证偶极子天线的 8 个不同位置来进行。测量中保持验证偶极子天线在受试 LLA 的平面内。

在这 8 个位置上的每一个点进行测量时,射频信号源的开路电压(V_{go})和被测电流(I_1)的确认系数[表示为 $\text{dB}(\Omega)=20\lg(V_{\text{go}}/I_1)$]与图 C.8 中给出的确认系数之间的偏差不应超出 $\pm 2\ \text{dB}$ 。

图 C.8 中给出的确认系数适用于标准直径 D 为 $2\ \text{m}$ 的圆形 LLA,如果 LLA 的直径不是 $2\ \text{m}$,则此类非标准 LLA 的确认系数可根据图 C.8 和图 C.11 中给出的数据推算得出(见 C.6)。

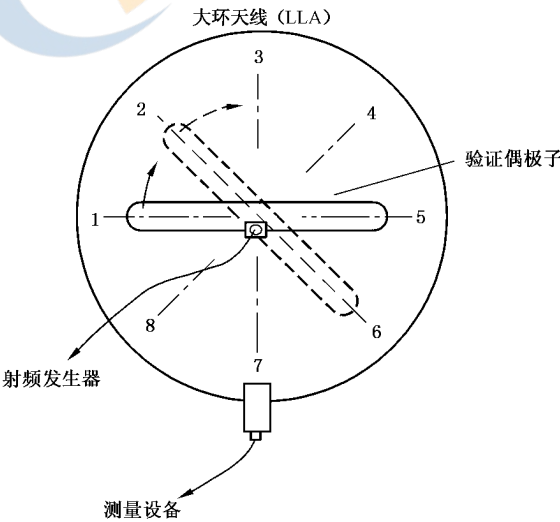


图 C.7 对 LLA 进行确认时验证偶极子的 8 个位置

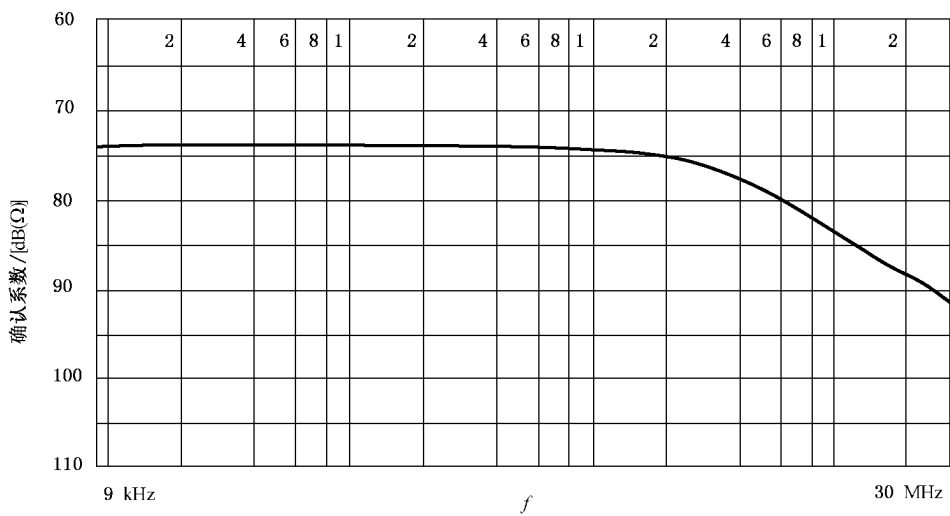


图 C.8 直径为 2 m 的 LLA 的确认系数

C.5 验证偶极子天线的结构

如图 C.9 所示,验证偶极子天线可以设计为能同时辐射由 LLA 测量的磁场和不被 LLA 接收的电场。

验证偶极子天线由 RG 223/U 同轴电缆构成,其宽度 W 为 150 cm,高度 H 为 10 cm(电缆与电缆之间的中心距离),如图 C.9 所示。

同轴电缆外导体上的缝隙将偶极子分为两部分,其中一部分,即图 C.9 中所示的右半部分,在靠近缝隙的一侧以及靠近连接器的一侧均为短路,短路意味着同轴电缆的内、外导体电气连接在一起。该部分与 BNC 连接器的参考地相连。同轴电缆的内导体,构成了图 C.9 中偶极子的左半部分,与 BNC 连接器的中间管脚相连,同轴电缆的外导体与 BNC 连接器的参考地相连。

使用一个小金属盒来屏蔽靠近偶极子的连接部分。左右半部分同轴偶极子电缆的外导体均搭接在该金属盒上,相当于 BNC 连接器的参考地。

为使结构坚固,偶极子由一个非金属底座支撑。

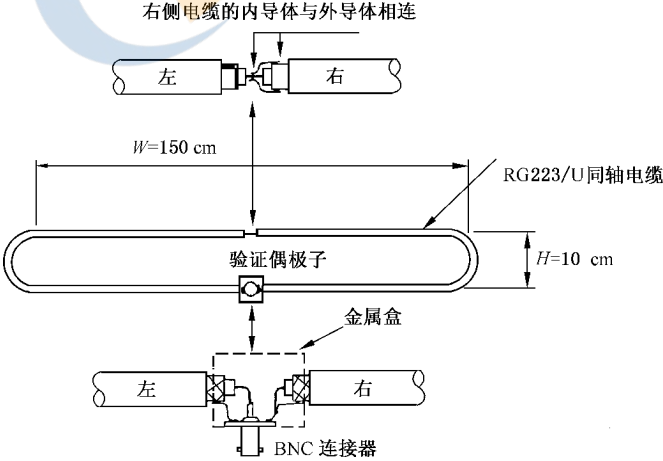


图 C.9 验证偶极子天线的结构

C.6 转换系数

C.6 讨论 LLA 中由 EUT 感应的电流 I 和距 EUT 一定距离处的磁场强度 H 之间的转换系数(见

图 C.10), 还将讨论非标准直径的 LLA 中测得的电流和标准直径($D=2\text{ m}$)的 LLA 中测得的电流之间的转换系数(见图 C.11)。

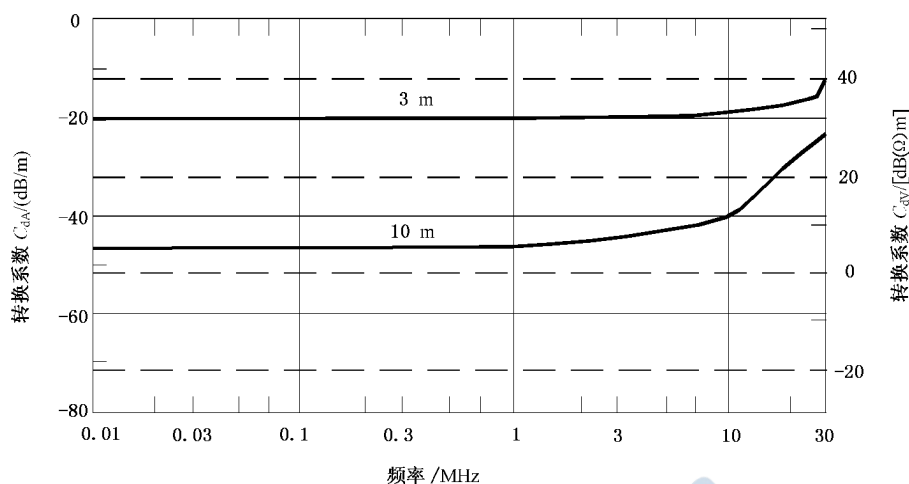


图 C.10 两种标准测量距离 d 所对应的转换系数 C_{dA} [转换单位为 $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$] 和 C_{dV} [转换为 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$]

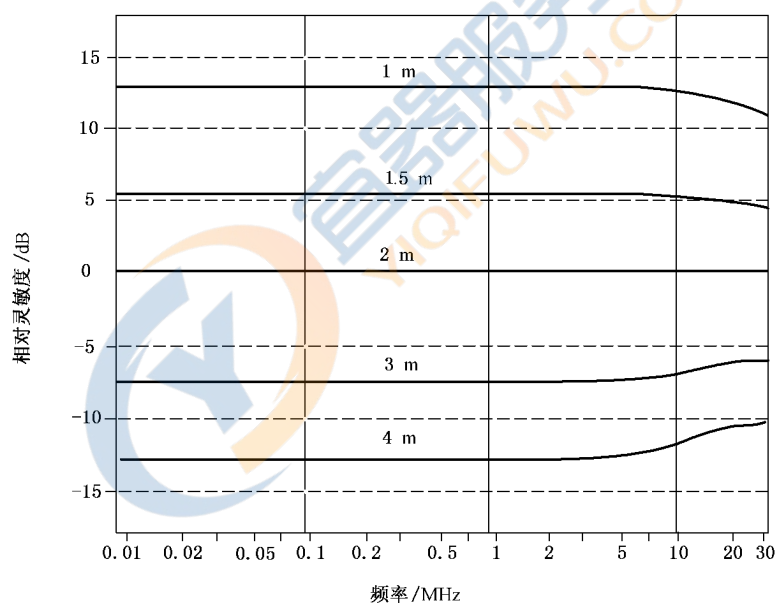


图 C.11 直径为 D 的 LLA 相对标准直径($D=2\text{ m}$)的 LLA 的灵敏度 S_D

图 C.10 中的转换系数适用于置于 LLA 中心、偶极矩与该 LLA 所在平面相垂直的磁场源。应注意的是:使用 4.3 中所规定的环天线,天线始终处在垂直平面内,EUT 仅围绕其垂直轴旋转。因此,在这种情况下,只有水平偶极矩,即与地平面平行的偶极矩被测量。所以对于垂直偶极矩的情况,转换系数不能用于比较两种测量方法的结果。然而对于在磁场测量法中将环天线置于一个水平面内,或将 EUT 倾斜 90° 的情况,该系数则是可用的,此时原垂直偶极矩已变为水平偶极矩。

如果 EUT 内部骚扰源的实际位置距离标准 LLAS 的中心不足 0.5 m ,那么测量结果与骚扰源位于 LLAS 中心时的结果的偏差小于 3 dB 。

在距离 d 处测得的磁场强度 $H[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})]$ 与电流 $I[\text{dB}(\mu\text{A})]$ 之间的关系为式(C.1):

$$H = I + C_{dA} \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中 C_{dA} 是当磁场强度 H 的单位为 $[\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})]$ 时,对于特定距离 d 的电流-场强转换系数,参见下列公式后的注释。

总之,转换系数是随频率变化的,图 C.10 给出了标准距离 3 m 和 10 m 情况下的 C_{dA} 。对于 $d=30$ m 的标准距离,转换系数仍在考虑中。

在直径为 D (单位:m) 的 LLA 中测得的电流和标准直径 ($D=2$ m) 的 LLA 中测得的电流之比为 S_D ,以分贝为单位,图 C.11 中给出了几个不同直径 D 所对应的 S_D 曲线。利用该比值,式 (C.1) 可改写为式 (C.2):

$$H = I - S_D + C_{dA} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

注:对于骚扰电平计算,CISPR 使用 $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 代替 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ 作为磁场强度 H 的单位,在上下文中,以 $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ 为单位的磁场强度和以 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ 为单位的磁场强度之间满足式 (C.3):

$$E = H + 51.5 \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

常量 $51.5[\text{dB}(\Omega)]$ 的解释见 4.3.2 的注。

为方便起见,图 C.10 中还给出了 $I[\text{dB}(\mu\text{A})]$ 与 $E[\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})]$ 之间的转换系数 C_{dV} 。以下例子解释了如何使用式 (C.1)、式 (C.2)、式 (C.3) 以及图 C.10 和图 C.11。

- a) 已知:测量频率 $f=100$ kHz,LLA 的直径 $D=2$ m,LLA 中的电流 $I=X\text{dB}(\mu\text{A})$,利用式 (C.1) 和图 C.10,可以得到 $d=3$ m 时:

$$H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})]\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19.5)\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})]\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51.5 - 19.5)]\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

- b) 已知:测量频率 $f=100$ kHz,LLA 的直径 $D=4$ m,LLA 中的电流 $I=X\text{dB}(\mu\text{A})$,则利用图 C.11,可以得到同一 EUT 在标准直径 ($D=2$ m) 的 LLA 中感应的电流为:

$$I = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) - S_4/\text{dB}]\text{dB}(\mu\text{A}) = (X + 13)\text{dB}(\mu\text{A})$$

- c) 已知:对直径 $D=3$ m 的 LLA 进行确认。

在每一频率点,用图 C.8 中给出的确认系数减去图 C.11 中给出的相对灵敏度 S_3 ,即可得到所需的确认系数。因此,如果测量频率 $f=100$ kHz,则直径 $D=3$ m 的 LLA 的确认系数为 $[73.5 - (-7.5)] = 81 \text{ dB}(\Omega)$ 。

附录 D

(规范性)

频率范围 30 MHz~1 000 MHz 的 OATS 的详细结构

(见第 6 章)

D.1 概述

6.2 给出了有关开阔场地结构方面的主要考虑。此外,本附录还给出了一些更详细的资料,以助于确保能构造一个良好的试验场地和全天候气候保护罩。保证构建过程中适用性的最好方法是按 6.4 进行场地确认测量。

D.2 接地平板的构造

D.2.1 材料

对于进行场强测量的试验场地,接地平板建议使用金属材料。然而由于某些实际的原因,并不能对所有设备的测量规定使用金属材料的接地平板(以下简称为金属接地平板)。金属接地平板的一些示例包括:实心金属箔片、金属箔、穿孔金属板、拉制网板、编织网、编结金属帘和金属网格栅等。接地平板需无线性尺寸达到最高测量频率所对应波长的几分之一缝隙和孔洞。对于编结帘、穿孔金属板、金属格栅和拉制金属网板等类型的接地平板,推荐金属网孔口径的最大尺寸为其最高频率对应波长的十分之一($\lambda/10$)(1 000 MHz 时,大约为 3 cm)。如果接地平板采用金属板材、管料或棒料拼接而成,所有接缝处都要连续可靠地钎焊或熔焊,决不能有大于十分之一波长的间隙。接地平板上厚的电介质涂料,如沙子、沥青或木屑,都可能会破坏试验场地的衰减特性。

D.2.2 平坦性(粗糙度)

瑞利粗糙度准则对评估接地平板的最低可接受的均方根(RMS)粗糙度(b)是非常有用的(见图 D.1)。对于大多数实际的试验场地,特别是测量距离为 3 m 时,从测量的角度来看,优于 4.5 cm 的粗糙度是没有实际意义的。对于 10 m 和 30 m 的试验场地,更差一些的粗糙度也是可以接受的。然而,无论如何,总是应按照 6.4 场地确认程序来执行,以确定其场地的粗糙度是否是可接受的。表 D.1 中的粗糙度 b 值由下式计算得到:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$

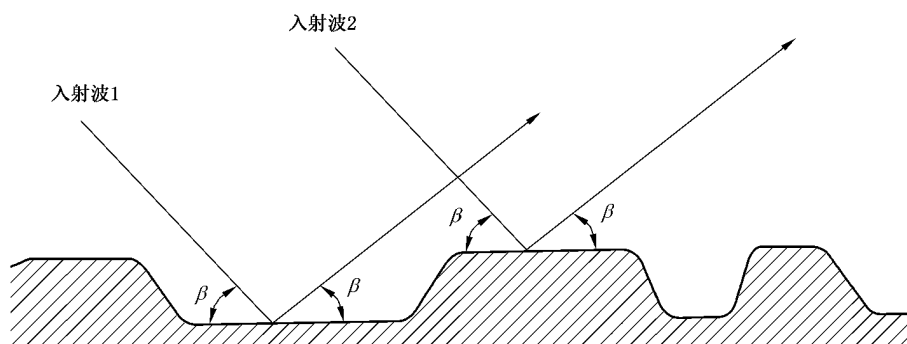


图 D.1 用于接地平板粗糙度的瑞利准则

表 D.1 3 m、10 m、30 m 测量距离时的最大粗糙度

测量距离 d m	发射天线高度 h_1 m	接收天线最大高度 h_2 m	最大均方根粗糙度 b	
			波长 λ 的倍数	1 GHz 时的 b 值 cm
3	1	4	0.15	4.5
10	1	4	0.28	8.4
30	2	6	0.49	14.7

D.3 为 EUT 提供服务的设施

为 EUT 提供电气服务的设施或电源的走线,需在接地平板的下面,并需尽可能地在较大的范围内与测量轴成直角。所有的引线、电缆以及到转台(即放置 EUT 的装置)的导管也需在接地平板的下面铺设。如果不可能在下面铺设,就需将这些服务于 EUT 的走线平铺在接地平板上,还要与接地平板搭接。

D.4 气候保护罩的构造

D.4.1 材料和紧固件

在频率 1 000 MHz 以下,薄的纤维玻璃、大多数的塑料、经过特殊处理的木头以及纤维材料都不会对 EUT 的发射造成明显的衰减。然而,有些材料(例如,木头和尼龙),受潮后,就会造成发射的损耗,尤其是当测量 EUT 的发射要穿过这些材料的时候,衰减就会变得更加严重。需谨防在构架上或组成结构的材料之间聚集着导电颗粒的空气、水和冰。对有可能堆积在结构上的外界物体也要进行周期性的检查,因为它们会导致测量误差。

接地平板上方金属的使用需维持在一个最低的限度。强烈建议尽可能地采用塑料或纤维紧固件。所有的拉桩、基桩及其类似的基座都需远离试验区,以免影响测量。

D.4.2 内部的布置

所有结构的组件都需无反射。用于供暖和冷却换气的吹风机和通风道及其支撑设施都需在试验区以外,或都需安装在结构外,除非它们用非导电材料制成、或在金属接地平板的下面、或在远低于非金属接地平板的下方运行。为了使设备正常工作,可能需要对温度和湿度进行控制。任何隔离层或窗户都需采用非金属的框架。安装在接地平板上的安全栅栏或梯子都需是非导电的。

D.4.3 尺寸

气候保护罩的大小取决于 EUT 的尺寸,而且还取决于是否要覆盖包括天线在内的试验场地,或者只是覆盖 EUT、测量设备以及接收天线(包括接收天线架和进行垂直极化测量时接收天线将要升至的最大高度)。

D.4.4 随时间和气候变化的均匀性

推荐进行周期性场地确认测量,目的是为了检测出试验场地的异常,它们是由气候状态(如吸潮)或者保护罩材料遭受污染而引起的气候保护罩的性能降低而造成的。这种测量同时也可以对射频电缆和测量仪器的校准进行核查。通常,每隔 6 个月测量一次就足够了,除非物理特性表明其性能衰减太快,例如,由于空气污染改变了材料的颜色。

D.5 转台和试验桌

为了方便地测量 EUT 所有方向上的辐射骚扰,推荐使用转台和试验桌。转台包括旋转组件,试验桌用于放置试验场地上的 EUT。本节考虑以下 3 种布置和转台配置。

- a) 对于旋转组件位于接地平板下的转台,旋转表面(顶部)应与接地平板齐平,并将其与接地平板导电连接。旋转表面带动实际的试验桌进行旋转。
 - 对于台式设备,试验桌的高度应为 $0.8\text{ m} \pm 0.01\text{ m}$,放置试验桌时,其在水平面上的中心需为转台的中心,转台为进行旋转的装置。进行场地确认测量时应将试验桌移走。
 - 对于落地式设备,EUT 需与转台的导电表面(需与接地平板齐平)绝缘。绝缘支撑物的高度应不大于 0.15 m 或根据产品委员会的要求。当 EUT 具有非金属的滚轮时则不要求使用绝缘支撑物。进行场地确认测量时应将绝缘支撑物移走。
- b) 对于试验桌集成了旋转组件且放置在转台(需与接地平板齐平)上或无转台接地平板上的转台,EUT 为台式设备时试验桌的高度应为 $0.8\text{ m} \pm 0.01\text{ m}$,EUT 为落地式设备时试验桌的高度不应大于 0.15 m 。进行场地确认测量时应将试验桌移走。
- c) 在 FAR 中,试验桌的高度不予规定,其取决于吸波材料的性能和 FAR 的试验空间。进行场地确认测量时应将试验桌移走。

对于支撑桌作为 EUT 一部分的 EUT/系统,需使用系统自身的支撑桌,而不是试验场地上的试验桌。

D.6 接收天线架的安装

接收天线需安装在一个天线高度可调的非金属支架上,测量距离等于或小于 10 m 时,天线高度需在 $1\text{ m} \sim 4\text{ m}$ 范围内调节;测量距离大于 10 m 时,天线高度需在 $1\text{ m} \sim 4\text{ m}$ 或者 $2\text{ m} \sim 6\text{ m}$ 的范围内调节。天线水平极化时,电缆应连接到天线的巴伦,在所有天线高度,电缆与所有天线振子的轴线正交,以维持与地面的平衡。

连接接收天线巴伦的电缆,在垂直落向接地平板之前,其在接收天线后端的长度近似为 1 m 或更长。从电缆落向接地平板的那点起,电缆就需以某种方式继续在接地平板上或其下方走线,以免影响测量。天线与测量接收机之间的连接电缆需尽可能地短,以保证 $1\,000\text{ MHz}$ 时的可接受的信号电平。

对于垂直极化的偶极子类型的天线,连接到测量接收机的电缆需在其离开接收天线(远离 EUT)到垂落至接地平板之前能够与接地平板保持大约 1 m 或更长的平行距离。天线电缆的横向托架需有约 1 m 长。到测量接收机之间的电缆的其余部分的布置与水平极化的情况相同。

上述两种情况下,天线系数的校准都不能受天线架或同轴电缆到天线的布局的影响。

附 录 E

注：为与等同标准 CISPR 16-1-4:2019 保持结构上的一致性，特保留附录 E 标题，以满足等同标准的制定和修订原则。



附录 F

(资料性)

±4 dB 场地可接受准则的基础

(见第 6 章)

F.1 概述

本附录给出了 6.4 所要求的 NSA 测量和 RSM 测量的 ±4 dB 可接受准则的基础。

F.2 误差分析

表 F.1 中的误差分析适用于 6.4 中的 NSA 测量方法。总的误差估算是以 ±4 dB 可接受准则为基础的。其中,包含大约 3 dB 的测量不确定度和由于场地不完善引入的附加允许的 1 dB。

表 F.1 中的误差估算没有包括信号发生器、跟踪信号发生器和可能用到的放大器由于幅度稳定性引入的不确定度,也没有包括测量技术引入的潜在误差。大多数的信号发生器和跟踪发生器的输出电平会随时间和温度而漂移,放大器的增益也会随温度而变化。重要的是要把误差源限制在一定的范围,或使其能够在测量中得到修正,否则,就可能会仅仅因为测量设备/设施的问题导致场地不能满足 ±4 dB 可接受准则。

表 F.1 误差的估算

误差项	测量方法	
	离散法 dB	扫描频率法 dB
发射天线系数 ^a	±1	±1
接收天线系数 ^a	±1	±1
电压表	0	±1.6 ^b
衰减器	±1	0
场地不完善	±1	±1
总计	±4	±4.6
^a 频率高于 800 MHz, 天线系数的误差可能达到 ±1.5 dB。		
^b 由所用设备的操作说明书给出。		

例如,如果能够从自动频谱分析仪的操作说明书中尽可能地去除或补偿各项潜在的误差源,那么就只剩下幅度误差需要考虑:

- 1) 校准器的不确定度: ±0.2 dB;
- 2) 频率响应平滑度: ±1.0 dB;
- 3) 输入衰减切换: ±1.0 dB;
- 4) 射频(RF)和中频(IF)增益的不确定度: ±0.4 dB。

上述潜在的误差的总和为 ±2.6 dB,但并没有将 ±0.05 dB/K 的温度漂移包括进去。实际上,当使用替代法测量时,与频响平滑度和输入衰减相关的误差通常要小于 1 dB,所以,作为两端子电压表来使用的频谱分析仪,其总误差不会劣于 ±1.6 dB,该值已被应用在表 F.1 当中。

衰减器的绝对准确度通常很差,但还是有些较好的。因此,在离散测量中的误差估算有可能偏大或偏小。如果采用扫描频率法测量,将在外部连接使用的衰减器与自动分析仪一起使用,那么误差估算的值可能还要大些。

这些误差估算中不包括测试设备的增益、输出电平和幅度响应随时间和温度变化产生的漂移所引入的误差。

实际上,上述统计的误差都偏向同一方向的可能性很小。对于一个结构良好的固定的试验场地,满足 ± 4 dB 准则意味着试验场地与理想的试验场地相比实际上允许超出 ± 1 dB 异常变化。



附录 G

(资料性)

RSM 对 COMTS 场地确认时的不确定度预算示例(见 6.6)

G.1 使用平均技术时天线对参考场地衰减校准时需考虑的输入量

被测量 A_{APR} 可通过式(G.1)计算, 不确定度预算示例见表 G.1。

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{SDAPR}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \\ \dots\dots\dots (G.1)$$

表 G.1 使用平均技术时的天线对参考场地确认的衰减校准

输入量 X_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
	dB	概率分布函数	dB		dB
接收机的读数 V_{DIRECT}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
接收机的读数 V_{SITE}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
失配					
发生器-接收机 δV_{M1}	± 0.1	U 形	0.07	1	0.07
发生器-天线 δV_{M2}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
天线-接收机 δV_{M2}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
A_{APR} 平均值的标准偏差 δV_{SDAPR}	± 0.6	正态($k=1$)	0.6	1	0.6
接收机的修正					
非线性 δV_{NL}	± 0.1	正态($k=2$)	0.05	1	0.05
本底噪声 δV_{NF}	± 0	正态($k=2$)	0	1	0
天线电缆的二次辐射					
发射天线 δV_{SRTX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17
接收天线 δV_{SRRX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17
天线塔 δV_{AM}	± 0.15	矩形	0.09	1	0.09

扩展不确定度为: $U = 2u_c(A_{\text{APR}}) = 1.37 \text{ dB}$

G.2 使用 REFTS 时天线对参考场地衰减校准需考虑的输入量

被测量 A_{APR} 可通过式(G.2)计算, 不确定度预算示例见表 G.2。

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{REFTS}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \\ \dots\dots\dots (G.2)$$

表 G.2 使用 REFTS 的天线对参考场地衰减校准

输入量 X_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
	dB	概率分布函数	dB		dB
接收机的读数 V_{DIRECT}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
接收机的读数 V_{SITE}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
失配					
发生器-接收机 δV_{M1}	± 0.1	U 形	0.07	1	0.07
发生器-天线 δV_{M2}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
天线-接收机 δV_{M3}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
REFTS 的影响 δV_{REFTS}	± 1	矩形	0.58	1	0.58
接收机的修正					
非线性 δV_{NL}	± 0.1	正态 ($k=2$)	0.05	1	0.05
本底噪声 δV_{NF}	± 0	正态 ($k=2$)	0	1	0
天线电缆的二次辐射					
发射天线 δV_{SRTX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17
接收天线 δV_{SRRX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17
天线塔 δV_{AM}	± 0.15	矩形	0.09	1	0.09

扩展不确定度为: $U=2u_c(A_{\text{APR}})=1.34 \text{ dB}$

G.3 使用天线对参考场地衰减确认 COMTS 时需考虑的输入量

被测量 ΔA_{S} 可通过式(G.3)计算, 不确定度预算示例见表 G.3。

$$\Delta A_{\text{S}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \dots \quad (\text{G.3})$$

表 G.3 使用天线对参考场地衰减确认 COMTS 时的不确定度预算

输入量 X_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
	dB	概率分布函数	dB		dB
接收机的读数 V_{DIRECT}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
接收机的读数 V_{SITE}	± 0.5	矩形	0.29	1	0.29
天线对的参考场地衰减 A_{APR}	± 1.4	正态 ($k=2$)	0.7	1	0.7
失配					
发生器-接收机 δV_{M1}	± 0.1	U 形	0.07	1	0.07
发生器-天线 δV_{M2}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
天线-接收机 δV_{M3}	± 0.2	U 形	0.14	1	0.14
接收机的修正					
非线性 δV_{NL}	± 0.1	正态 ($k=2$)	0.05	1	0.05

表 G.3 使用天线对参考场地衰减确认 COMTS 时的不确定度预算 (续)

输入量 X_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$	c_i	$c_i u(x_i)$
	dB	概率分布函数	dB		dB
本底噪声 δV_{NF}	± 0	正态 ($k=2$)	0	1	0
天线电缆的二次辐射					
发射天线 δV_{SRRX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17
接收天线 δV_{SRRX}	± 0.3	矩形	0.17	1	0.17

扩展不确定度为: $U=2u_c(\Delta A_s)=1.54$ dB

参 考 文 献

- [1] IEC 61169-8 Radio-frequency connectors—Part 8: Sectional specification—RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock—Characteristic impedance 50 Ω (type BNC) (previously published as IEC 60169-8)
- [2] IEC 61000-4-20 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-20: Testing and measurement techniques—Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides
- [3] BEECKMAN, P. A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285.
- [4] BERRY, J., PATE, B., KNIGHT, J., “Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements”, Proceeding of the IEEE Symposium on EMC, Washington, DC, 1990.
- [5] BURKE, G. J. and POGGIO, A. J., Numerical Electromagnetic Code—Method of Moments, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981.
- [6] GARBE, H., New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, Review of Radio Science 1999-2002, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [7] MOSSHAMMER, P. Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions), Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin,
http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html,
http://www.regtp.de/imperia/md/content/tech_reg_t/emv/studien/diplomarbeit.pdf,
http://www.regtp.de/tech_reg_tele/in_06-03-02-03-00_m/01/index.html.
- [8] ETR 273-1-1:1998 Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties—Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics—Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France.
- [9] MIL-STD-461A, Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment.
- [10] ROCKWAY, J. W., LOGAN, J. C., TAM, D. W. S., LI, S. T., The MININEC System; Microcomputer Analysis of Wire Antennas, Artech House, Boston, 1988.
- [11] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264.
- [12] BERGERVOET J. R. and VAN VEEN, H. A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility, March 1989, ETH Zentrum - IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34.
- [13] IEEE 291-1991 IEEE Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of

Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz. IEEE, Inc., 445 Hoes Lane, PO Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331 USA, p. 28-29.

[14] GREENE, FM., NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1 000 MHz). Proceedings of the IEEE, June 1967, No. 6, vol. 55, p. 974-981.

[15] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT., Antennas: Theory and Practice. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.

[16] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. Proceedings of the IRE, September 1941, vol. 29, p. 493-592.

[17] WOLFF, EA. Antenna Analysis. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.

[18] HALLÉN, E. Theoretical Investigation into the Transmitting and Receiving Qualities of Antennas. Nova Acta Soc. Sci. Upsaliensis, Ser. IV, 11, No. 4, 1938, p. 1-44.

[19] KING, R.W.P., Theory of Linear Antennas, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p.16-17, 71, 184 and 487.

[20] The Radio Frequency Interference Meter NAVSHIPS 94810, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.

[21] CLC/TR 50481, Recommendations on filters for shielded enclosures, CENELEC, April 2009.

[22] CLC/TR 50484, Recommendations for shielded enclosures, CENELEC, April 2009.

[23] prEN 50147-3:1998, Electromagnetic Compatibility Basic Emission Standard, Part 3: Emission Measurements in Fully Anechoic Rooms, TC210-WG4-9905, CENELEC, Brussels, January 1999.

[24] GARN, H., Müllner, W., Buchmayr, M., Site-Reference Method for EMC Test Site Validation, Frequenz 53, July-August 1999, p. 151.

[25] GISIN, F., Using ANSI C63.5 standard site method antenna factors for verifying ANSI C63.4 site attenuation requirements, Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Dallas, 9-13 August 1993.

[26] GARN, H. F., BUCHMAYR, M., MÜLLNER, W. and RASINGER, J., Primary standards for antenna factor calibration in the frequency range 30 - 1 000 MHz, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, April 1997, vol. 46, no.2, p. 544-548.

[27] ALEXANDER, M.J., SALTER, M.J., LOADER, B.G., KNIGHT, D.A., Broadband calculable dipole reference antennas, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, February 2002, vol. 44, no.1, p. 45-58.

[28] FOEGELLE, M.D., Site validation theory 101: Techniques and methods, Compliance Engineering, July/August 2000, p. 42-53 www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html

[29] ANSI C63.5-2006, American National Standard for Electromagnetic Compatibility - Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control - Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz).



中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

无线电骚扰和抗扰度测量设备和
测量方法规范

第 1-4 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备
辐射骚扰测量用天线和试验场地

GB/T 6113.104—2021/CISPR 16-1-4:2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.org.cn

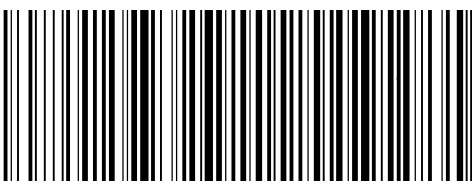
服务热线:400-168-0010

2021 年 12 月第一版

*

书号:155066·1-69251

版权专有 侵权必究



GB/T 6113.104-2021



码上扫一扫 正版服务到