



中华人民共和国国家标准

GB/T 17626.3—2023/IEC 61000-4-3:2020

代替 GB/T 17626.3—2016

电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—
Part 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

[IEC 61000-4-3:2020, Electromagnetic compatibility (EMC)—
Part 4-3: Testing and measurement techniques—
Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, IDT]

2023-12-28 发布

2024-07-01 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	V
引言	VIII
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	4
4 概述	5
5 试验等级和频率范围	5
5.1 试验等级选择	5
5.2 试验频率范围	6
6 试验设备	7
6.1 试验仪器	7
6.2 试验设施的描述	7
6.3 均匀场域(UFA)	8
6.3.1 UFA 的特征	8
6.3.2 恒定场强电平设置方法	12
6.3.3 恒定功率电平设置方法	13
7 试验布置	14
7.1 通则	14
7.2 台式设备的布置	14
7.3 落地式设备的布置	17
7.4 线缆的布置	17
7.5 人体携带设备的布置	18
8 试验程序	18
8.1 概述	18
8.2 实验室参考条件	19
8.2.1 通则	19
8.2.2 气候条件	19
8.2.3 电磁环境	19
8.3 试验的实施	19
8.4 步进	20
9 试验结果的评定	20

10 试验报告 20

附录 A (资料性) 保护(设备)抵抗数字无线电话射频辐射的试验调制方式的选择原理 22

 A.1 可选调制方式综述 22

 A.2 试验结果 23

 A.3 二次调制效应 24

 A.4 结论 24

附录 B (资料性) 场发射天线 26

 B.1 双锥天线 26

 B.2 对数周期天线 26

 B.3 组合天线 26

 B.4 喇叭天线和双脊波导天线 26

附录 C (资料性) 电波暗室的应用 27

 C.1 电波暗室综述 27

 C.2 铁氧体暗室用于 1 GHz 以上时的调整建议 27

 C.2.1 铁氧体暗室用于 1 GHz 以上辐射抗扰度试验时引起的问题 27

 C.2.2 减少反射的解决方案 28

附录 D (资料性) 放大器的压缩与非线性 29

 D.1 限制放大器失真的目的 29

 D.2 谐波及饱和可能引起的问题 29

 D.3 限制场的谐波含量 29

 D.4 线性特性对抗扰度试验的影响 29

 D.4.1 概述 29

 D.4.2 线性特性的评估方法 30

附录 E (资料性) 产品标准化专业委员会试验等级选择指南 33

 E.1 概述 33

 E.2 一般用途的试验等级 33

 E.3 无线电话射频辐射防护相关的试验等级 33

 E.4 对固定发射设备的特殊措施 35

附录 F (资料性) 试验方法的选择 36

附录 G (资料性) 线缆布置细节 37

 G.1 辐射抗扰度试验中 EUT 布置 37

 G.2 场中的线缆 37

 G.3 线缆离开测试区域的线缆 37

 G.4 EUT 机柜的转动 37

附录 H (资料性) 大型及重型 EUT 的试验布置示例 38

 H.1 带有底部馈线的 EUT 38

 H.2 带有架空线缆的 EUT 39

H.3 带有多根线缆和 AE 的 EUT	40
H.4 带有侧馈线缆并需要多个 UFA 窗口的大型设备	40
附录 I (资料性) 多信号试验	42
I.1 概述	42
I.2 互调	42
I.3 功率要求	42
I.4 试验电平设置要求	43
I.5 线性度和谐波检查	43
I.6 多信号试验时 EUT 的性能判据	43
附录 J (规范性) 由试验仪器引起的测量不确定度	44
J.1 概述	44
J.2 对于试验电平设置的不确定度预评估	44
J.2.1 被测量的定义	44
J.2.2 被测量的不确定度贡献	44
J.2.3 扩展不确定度的计算举例	44
J.2.4 术语解释	45
J.3 应用	46
J.4 参考文献	46
附录 K (资料性) 电场探头的校准方法	47
K.1 概述	47
K.2 探头校准要求	47
K.2.1 通用要求	47
K.2.2 电平设置频率范围	47
K.2.3 频率步进	47
K.2.4 场强	47
K.3 校准仪器的要求	48
K.3.1 概述	48
K.3.2 谐波和杂散信号	48
K.3.3 探头的线性测量	48
K.3.4 标准喇叭天线增益的确定	49
K.4 暗室内的场强探头校准	50
K.4.1 校准环境	50
K.4.2 场强探头校准电波暗室的确认	50
K.4.3 探头校准程序	55
K.5 替代的探头校准环境和方法	57
K.5.1 概述	57
K.5.2 使用 TEM 室校准场强探头	57

K.5.3 用波导室校准场强探头 57

K.5.4 使用开口波导校准场强探头 58

K.5.5 用增益传递法校准场强探头 58

K.6 参考文献 58

参考文献 60

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。

本文件是 GB/T(Z) 17626《电磁兼容 试验和测量技术》的第3部分。GB/T(Z) 17626 已经发布了以下部分：

- GB/T 17626.1—2006 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论；
- GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验；
- GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验；
- GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验；
- GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验；
- GB/T 17626.6—2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度；
- GB/T 17626.7—2017 电磁兼容 试验和测量技术 供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则；
- GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验；
- GB/T 17626.9—2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验；
- GB/T 17626.10—2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验；
- GB/T 17626.11—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第11部分：对每相输入电流小于或等于16 A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验；
- GB/T 17626.12—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第12部分：振铃波抗扰度试验；
- GB/T 17626.13—2006 电磁兼容 试验和测量技术 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验；
- GB/T 17626.14—2005 电磁兼容 试验和测量技术 电压波动抗扰度试验；
- GB/T 17626.15—2011 电磁兼容 试验和测量技术 闪烁仪 功能和设计规范；
- GB/T 17626.16—2007 电磁兼容 试验和测量技术 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验；
- GB/T 17626.17—2005 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口纹波抗扰度试验；
- GB/T 17626.18—2016 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验；
- GB/T 17626.19—2022 电磁兼容 试验和测量技术 第19部分：交流电源端口2 kHz~150 kHz差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验；
- GB/T 17626.20—2014 电磁兼容 试验和测量技术 横电磁波(TEM)波导中的发射和抗扰度试验；
- GB/T 17626.21—2014 电磁兼容 试验和测量技术 混波室试验方法；
- GB/T 17626.22—2017 电磁兼容 试验和测量技术 全电波暗室中的辐射发射和抗扰度测量；
- GB/T 17626.24—2012 电磁兼容 试验和测量技术 HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法；
- GB/T 17626.27—2006 电磁兼容 试验和测量技术 三相电压不平衡抗扰度试验；
- GB/T 17626.28—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频频率变化抗扰度试验；

- GB/T 17626.29—2006 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验；
- GB/T 17626.30—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 30 部分：电能质量测量方法；
- GB/T 17626.31—2021 电磁兼容 试验和测量技术 第 31 部分：交流电源端口宽带传导骚扰抗扰度试验；
- GB/Z 17626.33—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 33 部分：高功率瞬态参数测量方法
- GB/T 17626.34—2012 电磁兼容 试验和测量技术 主电源每相电流大于 16 A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验；
- GB/T 17626.39—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 39 部分：近距离辐射场抗扰度试验。

本文件代替 GB/T 17626.3—2016《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》，与 GB/T 17626.3—2016 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了邻近 EUT 的射频源抗扰度试验的内容(见第 1 章)；
- 删除了 E_c 、 E_1 、独立窗口法、感应场、 P_c 以及扫描的定义(见 2016 年版的 3.10、3.11、3.14、3.15、3.20、3.24)；
- 增加了共模吸收装置、互调、调制因子、参考接地平面的定义(见 3.1.8、3.1.17、3.1.20、3.1.24)；
- 增加了缩略语(见 3.2)；
- 删除了对数字无线电话及其他射频发射装置的试验等级(见 2016 年版的 5.2)；
- 删除了设施布置图中绝缘桌与 UFA 的 0.8 m 的要求(见 2016 年版的图 2)；
- 删除了 UFA 特征中图片中的下边缘 0.8 m 的要求(见 2016 年版的图 3)；
- 删除了产品不大不重且安全的基础上可放置在 0.8 m 高绝缘桌上进行测试的描述(见 2016 年版的 7.2)；
- 增加了使用共模吸收装置去耦电缆的要求(见 7.4)；
- 删除了一般试验等级频率范围的上限要求(见 2016 年版的 5.1)；
- 更改了场的校准的内容，将“场校准”更改为“电平设置”(见 6.3，2016 年版的 6.2)。

本文件等同采用 IEC 61000-4-3:2020《电磁兼容(EMC) 第 4-3 部分：试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称修改为《电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分：射频电磁场辐射抗扰度试验》。

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。

本文件由全国电磁兼容标准化技术委员会(SAC/TC 246)提出并归口。

本文件起草单位：上海电器科学研究院、芮锋射频技术(上海)有限公司、芜湖赛宝机器人产业技术研究院有限公司、湖北省医疗器械质量监督检验研究院、深圳市智微智能科技股份有限公司、西华大学、浙江省医疗器械检验研究院、招商局金陵船舶(南京)有限公司、国网四川省电力公司营销服务中心、湖南电科院检测集团有限公司、上海市质量监督检验技术研究院、中国电力科学研究院有限公司、江苏建筑职业技术学院、上海市计量测试技术研究院、中国电子技术标准化研究院、中国信息通信研究院、联想(北京)有限公司、成都芯通软件有限公司、广东省医疗器械质量监督检验所、漳州视瑞特光电科技股份有限公司、深圳市恒运昌真空技术有限公司、深圳欧米智能科技有限公司、乾宇微纳技术(深圳)有限公司、深圳市利孚医疗技术有限公司、深圳中科超算技术有限公司、深圳市兆芯微电子有限公司、启垠科技(深圳)有限公司、中国科学技术大学、广东中认华南检测技术有限公司、海信(广东)空调有限公司、东电检测技术服务(天津)有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海添唯认证技术有限公司。

本文件主要起草人：侯怡骏、金鑫、卫能、罗宇翔、徐扬、陈冬山、刘晓旭、徐珂、李国荣、刘丽娜、周太平、

陈业刚、王忠阁、李妮、王勇、轩辕韵佳、田禾管、付洪英、张强、安少赓、吕飞燕、魏斌、张锐钊、蔡勇斌、乐卫平、彭炯、许迪、潘少辉、名朱奎、王鑫、黎庭、涂志健、卢炎汉、张猛、张锐、别清峰。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1992 年首次发布为 GB/T 13926.3—1992；

——1998 年第一次修订为 GB/T 17626.3—1998，2006 年第二次修订，2016 年第三次修订，本次为第四次修订。

引言

电磁兼容性是电气和电子设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。电磁兼容问题是影响环境及产品质量的重要因素之一,其标准化工作已引起国内外的普遍关注。在这方面,国际电工委员会(IEC)制定的 IEC 61000 系列出版物是制造业、信息产业、电工电气工程及能源、交通运输业、社会事业及健康、消费品质量安全等领域中的通用标准,分为综述、环境、限值、试验和测量技术、安装和减缓导则、通用标准 6 大类。我国已经针对该系列出版物开展了国内转化工作,并建立了相应的国家标准体系。

在该标准体系中,GB/T(Z) 17626《电磁兼容 试验和测量技术》是关于电磁兼容领域试验和测量技术方面的基础性标准,旨在描述传导骚扰、辐射骚扰等电磁兼容现象的抗扰度试验等内容,拟由 39 个部分构成。

- 第 1 部分:抗扰度试验总论。目的在于提供电磁兼容标准中有关试验和测量技术的使用性指导,并对选择相关的试验提供通用的建议。
- 第 2 部分:静电放电抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备遭受静电放电时的性能。
- 第 3 部分:射频电磁场辐射抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估暴露于辐射射频电磁场中的电气电子设备的抗扰度要求。
- 第 4 部分:电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备的供电电源端口、信号、控制和接地端口在受到电快速瞬变脉冲群干扰时的抗扰度性能。
- 第 5 部分:浪涌(冲击)抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到浪涌(冲击)时的抗扰度性能。
- 第 6 部分:射频场感应的传导骚扰抗扰度。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在收到由射频场感应的传导骚扰时的抗扰度性能。
- 第 7 部分:供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则。目的在于规定可用于根据某些标准给出的发射限值对设备逐项进行试验,对实际供电系统中谐波电流和电压的测量的仪器。
- 第 8 部分:工频磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估家用、商业和工业用电气和电子设备处于工频(连续和短时)磁场中的抗扰度性能。
- 第 9 部分:脉冲磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估居住、商业和工业用电气和电子设备处于脉冲磁场中的抗扰度性能。
- 第 10 部分:阻尼振荡磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估中、高压变电站中电气和电子设备处于阻尼振荡磁场中的抗扰度性能。
- 第 11 部分:对每相输入电流小于或等于 16 A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度性能。
- 第 12 部分:振铃波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估在实验室中居住、商业和工业用电气和电子设备的抗扰度性能,同样也适用于发电站和变电站的设备。
- 第 13 部分:交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备对谐波、间谐波和电网信号频率的低频抗扰度性能。

- 第 14 部分:电压波动抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到正和负的低幅值电压波动时的抗扰度性能。
- 第 15 部分:闪烁仪 功能和设计规范。目的在于为所有实际的电压波动波形显示正确的闪烁感知电平。
- 第 16 部分:0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验。目的在于建立电气和电子设备经受共模传导骚扰测试的通用和可重复性准则。
- 第 17 部分:直流电源输入端口纹波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,用以在实验室条件下对电气和电子设备进行来自如整流系统和/或蓄电池充电时叠加在直流电源上的纹波电压的抗扰度试验。
- 第 18 部分:阻尼振荡波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到阻尼振荡波时的抗扰度性能。
- 第 19 部分:交流电源端口 2 kHz~150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验。目的在于确认电气和电子设备在公用电网下工作时能承受来自诸如电力电子和电力线通信系统(PLC)等的差模传导骚扰。
- 第 20 部分:横电磁波(TEM)波导中的发射和抗扰度试验。目的在于给出 TEM 波导的性能、用于电磁兼容试验的 TEM 波导的确认方法、在 TEM 波导中进行辐射发射和抗扰度试验的试验布置、步骤和要求。
- 第 21 部分:混波室试验方法。目的在于建立使用混波室评估电气和电子设备在射频电磁场中的性能和确定电气电子设备的辐射发射等级的通用规范。
- 第 22 部分:全电波暗室中的辐射发射和抗扰度测量。目的在于规定在同一个全电波暗室内进行辐射发射和辐射抗扰度的通用确认程序、受试设备的试验布置要求和全电波暗室测量方法。
- 第 23 部分:HEMP 和其他辐射骚扰防护装置的试验方法。目的在于通过描述 HEMP 试验的基本原理,以及防护元件试验的理论基础(试验概念)、试验配置、所需设备、试验程序、数据处理等重要概念。
- 第 24 部分:HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法。目的在于规定 HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法,包括电压击穿和电压限制特性的试验,以及电压和电流快速变化时的残余电压的测量方法。
- 第 25 部分:设备和系统 HEMP 抗扰度试验方法。目的在于建立通用的和可重现的基准,用于评估遭受 HEMP 辐射环境及其在电源、天线、I/O 信号线和控制线上产生的传导瞬态骚扰时的电气和电子设备性能。
- 第 27 部分:三相电压不平衡抗扰度试验。目的在于为电气和电子设备在受到不平衡的供电电压时的抗扰度评价建立参考。
- 第 28 部分:工频频率变化抗扰度试验。目的在于为电气和电子设备在受到工频频率变化时的抗扰度评价提供依据。
- 第 29 部分:直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验。目的在于建立评价直流电气、电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化时的抗扰度的通用准则。
- 第 30 部分:电能质量测量方法。目的在于规定 50 Hz 交流供电系统中电能质量参数测量方法及测量结果的解释。
- 第 31 部分:交流电源端口宽带传导骚扰抗扰度试验。目的在于建立通用的基准,以评估电气和电子设备交流电源端口在遭受有意和/或无意宽带信号源产生的传导骚扰时的抗扰度。
- 第 32 部分:高空核电磁脉冲(HEMP)模拟器概述。目的在于提供国际上现有的系统级 HEMP 模拟器以及它们作为抗扰度试验与验证设备时所需要的相关信息。
- 第 33 部分:高功率瞬态参数测量方法。目的在于给出高功率电磁瞬态响应波形的测量方法和

特征参数的信息。

- 第 34 部分:主电源每相电流大于 16 A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验。目的在于建立评价电气和电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化时的抗扰度的通用准则。
- 第 35 部分:高功率电磁(HP EM)模拟器概述。目的在于提供国际上现有的系统级 HP EM 窄带(窄谱)和宽带(宽谱、亚超宽谱和超宽谱)模拟器以及它们作为抗扰度试验与验证设备时所需要的相关信息。
- 第 36 部分:设备和系统的有意电磁干扰抗扰度试验方法。目的在于为评估设备和系统对有意电磁干扰源的抗扰度提供了确定试验水平的方法。
- 第 37 部分:谐波发射试验系统校准与验证协议。目的在于为制造商、终端用户、独立实验室、其他组织机构提供系统化指导,以规定一定谐波电流发射范围内适用的合规状态。
- 第 38 部分:电压波动和闪烁合规测试系统的测试、验证和校准协议。目的在于为由型式试验设备组成的系统提供定期校准和验证的指南和方法。
- 第 39 部分:近距离辐射场抗扰度试验。目的在于建立通用的基准,以评估暴露于近距离源的辐射射频电磁场中的电气电子设备的抗扰度要求。
- 第 40 部分:调制或失真信号功率的数字测量方法。目的在于介绍两种适用于波动或非周期负载下功率量测量的数字算法,并说明所提出的算法的工作原理。

电磁兼容 试验和测量技术

第3部分:射频电磁场辐射抗扰度试验

1 范围

本文件适用于电气电子设备的电磁场辐射抗扰度要求,规定了试验等级和必要的试验程序。

本文件的目的是建立电气电子设备受到射频电磁场辐射时的抗扰度评定依据。在本文件中给出的试验方法描述了评估设备或系统对来自非邻近受试设备(EUT)的射频源的射频电磁场的抗扰度符合性方法。试验环境在第6章有明确规定。

注1:如IEC GUIDE 107所述,本文件是供产品委员会使用的基础电磁兼容(EMC)出版物。同时在IEC GUIDE 107中规定,产品委员会负责确定此抗扰度试验标准是否适用,如适用,他们有责任确定适合的试验等级及性能判据。全国电磁兼容标准化技术委员会(SAC/TC 246)及其分会与产品委员会合作,以评估对其产品的特定抗扰度试验的试验等级及性能判据。

注2:IEC 61000-4-39中定义了邻近EUT的射频源抗扰度试验。

特别关注以防护来自数字无线电话和其他射频发射装置的射频辐射。

注3:本文件规定了评估EUT在电磁辐射状况下受影响程度的试验方法。电磁辐射的模拟和测量对定量确定这种影响程度是不够准确的。所定义试验方法的宗旨是为定性分析建立一个对各种EUT均获得良好重复性测量结果的方法。

本文件是一个独立的试验方法。不能使用其他试验方法替代来声称符合本文件。

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。

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

注:GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容[IEC 60050(161):1990,IDT]

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

IEC 60050-161界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO和IEC的术语数据库可以通过以下网址访问:

IEC电子百科:<http://www.electropedia.org/>

ISO在线浏览平台:<http://www.iso.org/obp>

3.1.1

调幅 amplitude modulation; AM

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

[来源:IEC 60050-702:2016,702-06-17]

3.1.2

电波暗室 **anechoic chamber**

安装吸波材料用以降低内表面电波反射的屏蔽室。

3.1.3

全电波暗室 **fully anechoic chamber**

内表面全部安装吸波材料的屏蔽室。

3.1.4

半电波暗室 **semi-anechoic chamber**

除地面安装反射接地平板外,其余内表面均安装能吸收试验频率范围内的电磁波材料(例如射频吸波材料)的屏蔽室。

3.1.5

可调式半电波暗室 **modified semi-anechoic chamber**

在地面反射接地平板上附加吸波材料的半电波暗室。

3.1.6

天线 **antenna**

能够有效地向空间辐射或从空间接收无线电波的装置。它为发射机或接收机与传播无线电波的媒质之间提供所需要的耦合。

注1:在实用中对天线的终端或者对被认为是天线与发射机或接收机之间的接口予以规定。

注2:如果发射机或接收机由馈线接到天线则会将该天线认为是传输线引导的无线电波和空间辐射波之间的换能器。

[来源:GB/T 14733.10—2008,712-01-01]

3.1.7

平衡-不平衡转换器 **balun**

用来将不平衡电压与平衡电压相互转换的装置。

[来源:GB/T 4365—2003,161-04-34]

3.1.8

共模吸收装置 **common mode absorption device; CMAD**

在辐射抗扰度试验中,应用于离开试验区域的线缆上的装置,以抑制线缆上的谐振。

3.1.9

连续波 **continuous waves; CW**

在稳态条件下,完全相同的连续振荡的正弦电磁波,通过中断或调制来传递信息。

3.1.10

电磁波 **electromagnetic wave**

由时变电磁场的传播表征的波。

注:电磁波是由电荷或电流的变化产生的。

[来源:GB/T 14733.9—2008,705-01-09]

3.1.11

远场 **far field**

天线的磁场区域,其中体现能量传播的电磁场分量占支配地位,并且电磁场的角分布基本上与离天线的距离无关。

注1:在远场区,电磁场分量的幅度与天线距离成反比。

注2:如边射天线的最大总尺寸 D 大于波长 λ ,则通常取离天线的距离大于 $2D^2/\lambda$ 处为远场区。

[来源:GB/T 14733.10—2008,712-02-02,有修改——“区域”一词已从术语中删除]

3.1.12

场强 field strength

给定点产生的电磁场值。

[来源:GB/T 14733.9—2008,705-08-31,有修改——“给定点”一词后面的定义已删除]

3.1.13

频带 frequency band

在规定的两个界限频率之间的一段连续频率。

注:频带由规定它在频谱中位置的两个值(例如其上限频率和下限频率)来表示。

[来源:GB/T 14733.7—2008,702-01-02]

3.1.14

完全照射法 full illumination method

受试设备的被试验面完全被均匀场域所覆盖的试验方法。

注:该试验方法能用于所有试验频率。

3.1.15

人体携带设备 human body-mounted equipment

用于人体附属或近距离携带的设备。

注:这个术语包括在运行时人们携带手持设备(例如口袋设备)以及电子辅助设备和植入物。

3.1.16

有意射频发射装置 intentional RF emitting device

进行有意电磁场发射(传播)的装置。

示例:包括数字移动电话和其他无线电装置。

3.1.17

互调 intermodulation

发生在非线性的器件或传播媒介中的过程。由此一个或多个输入信号的频谱分量相互作用,产生出新的分量,它们的频率等于各输入信号分量频率的整倍数的线性组合。

注:互调是单个非正弦输入信号或多个正弦或非正弦信号作用于同一或不同输入端引起的。

[来源:GB/T 4365—2003,161-06-20]

3.1.18

各向同性场强探头 isotropic field probe

场探头,其探测特性与电磁波的传播方向和极化无关。

[来源:GB/T 14733.12—2008,731-03-08,有修改——修改措辞以适用于场强探头]

3.1.19

有效值最大值 maximum RMS value

在一个调制周期内,射频调制信号的短期有效值(RMS)的最大值。

注:短期有效值(RMS)是在一个载波周期内进行计算的。例如,对图 1b),最大有效值(RMS)电压为:

$$U_{\text{maximum RMS}} = U_{\text{p-p}} / (2 \times \sqrt{2}) = 1.8 \text{ V}$$

3.1.20

调制因子 modulation factor

在线性幅度调制中,已调信号的最大和最小幅度之差与这些幅度总和的比值,通常用百分数表示,表示:

$$m = 100 \times \frac{U_{\text{p-p,max}} - U_{\text{p-p,min}}}{U_{\text{p-p,max}} + U_{\text{p-p,min}}}$$

注:见表 2 和图 1。

[来源:GB/T 14733.7—2008,702-06-19,已修改——增加了公式,删除了注释]

3.1.21

非恒定包络调制 non-constant envelope modulation

射频调制方案,选择在时间上,载波的幅值相对于其周期变化缓慢的射频调制方案。

示例:包括常规幅度调制及时分多址调制(TDMA)。

3.1.22

部分照射法 partial illumination method

当受试设备面不能使用单个均匀场域一次覆盖时使用的试验方法。

3.1.23

极化 polarization

辐射场电场向量的方向。

3.1.24

参考接地平面 reference ground plane; RGP

平坦的导电表面,与参考接地具有相同的电势,作为共同的参考,并有助于与受试设备周围的可重复寄生电容。

[来源:IEC 60050-161:2014,161-04-36 有修改——注释已删除]

3.1.25

屏蔽壳体/屏蔽室 shielded enclosure screened room

专门设计用来隔离内外电磁环境的网状或薄板金属壳体。

注:屏蔽室(screened room)是屏蔽壳体中的一类。

[来源:GB/T 4365—2003,161-04-37]

3.1.26

时分多址 time division multiple access; TDMA

时间倍增调制电路分时复合调制方案,在某一分配频率同一载波内设置几个通信信道。每一信道被赋予某一时间段,在该时间周期内,如果该信道是激活的,则信号作为射频脉冲被传输,而如果该信道不是处于激活的,则脉冲未被传输,这样载波包络就不为常数。而脉冲的幅值为定值,射频载波被频率调制或相位调制。

[来源:IEC 60050-725:1994,725-14-12]

3.1.27

收发机 transceiver

收发两用机 transmitter-receiver

共用一个外壳的无线电发射和接收的组合设备。采用公共电路部件,通常发射和接收天线相同。

[来源:IEC 60050-713:1998,713-08-02,有修改——说明已被删除]

3.1.28

均匀场域 uniform field area; UFA

场电平设置的假想垂直平面,在该平面内场强的变化足够小。

注:见 6.3。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AE:辅助设备(Auxiliary Equipment)

AM:调幅(Amplitude Modulation)

CMAD:共模吸收装置(Common-Mode Absorption Device)

CW:连续波(Continuous Wave)

DECT:增强数字无绳通信(Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

ERP:有效辐射功率(Effective Radiated Power)

EUT:受试设备(Equipment Under Test)

GSM:全球移动通信系统(Groupe Special Mobile,后更名为:Global System for Mobile Communications)

LTE:长期演进技术(Long Term Evolution,根据无线电广播通信领域术语命名)

MU:测量不确定度(Measurement Uncertainty)

OFDM:正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

PA:功率放大器(Power Amplifier)

PM:功率计(Power Meter)

RF:射频(Radio Frequency)

RMS:有效值(Root Mean Square)

SDH:同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy)

TDMA:时分多址(Time Division Multiple Access)

UFA:均匀场域(Uniform Field Area)

VSWR:电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio)

4 概述

电子设备都会在某种情况下受到电磁辐射的影响。诸如操作维修及保安人员使用的小型手持无线电收发机、固定的无线电广播、电视台的发射机、车载无线电发射机以及各种工业电磁源,这些常规用途发射源均会频繁地产生这种辐射。其中许多服务使用具有非恒定包络的调制技术。

除了有意产生的电磁能量以外,还有一些设备产生辐射,如电焊机、晶闸管装置、荧光灯、感性负载的开关操作等。这种干扰在大多数情况下表现为传导干扰,传导干扰在《电磁兼容 试验和测量技术》系列标准的其他部分中涉及。该方法用以防止电磁场影响,通常也减少这类干扰源的影响。

在本文件中,电磁环境取决于该环境内的电磁场强度。由于周围建筑物和邻近其他设备的影响会使电磁波反射和/或失真,若没有先进的仪器,场强很难测量,也很难用经典公式或方程式来计算。

5 试验等级和频率范围

5.1 试验等级选择

试验等级在表 1 中列出。

表 1 试验等级

等级	试验场强 V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
X	特定
X 是一开放的等级,其场强可为任意值。该等级应在产品标准中规定。	

本文件不建议在整个频率范围内应用单一的试验等级。产品委员会应选择合适的试验的频率范围和试验等级。附录 E 给出了产品委员会选择试验等级的指导意见。

表中试验场强列出的是未调制载波信号的场强。对设备试验时,要用 1 kHz 的正弦波对未调制载波信号进行 80% 的幅度调制来模拟实际威胁(见图 1 和表 2),详细试验步骤见第 8 章。

表 2 信号发生器输出端口的幅度调制特性

AM	内部或外部
	$m=(80\pm10)\%$,在信号发生器输出端测量。
	调制因子 m : $m=100\times\frac{U_{p-p,max}-U_{p-p,min}}{U_{p-p,max}+U_{p-p,min}}$ 1 kHz±0.1 kHz 正弦波

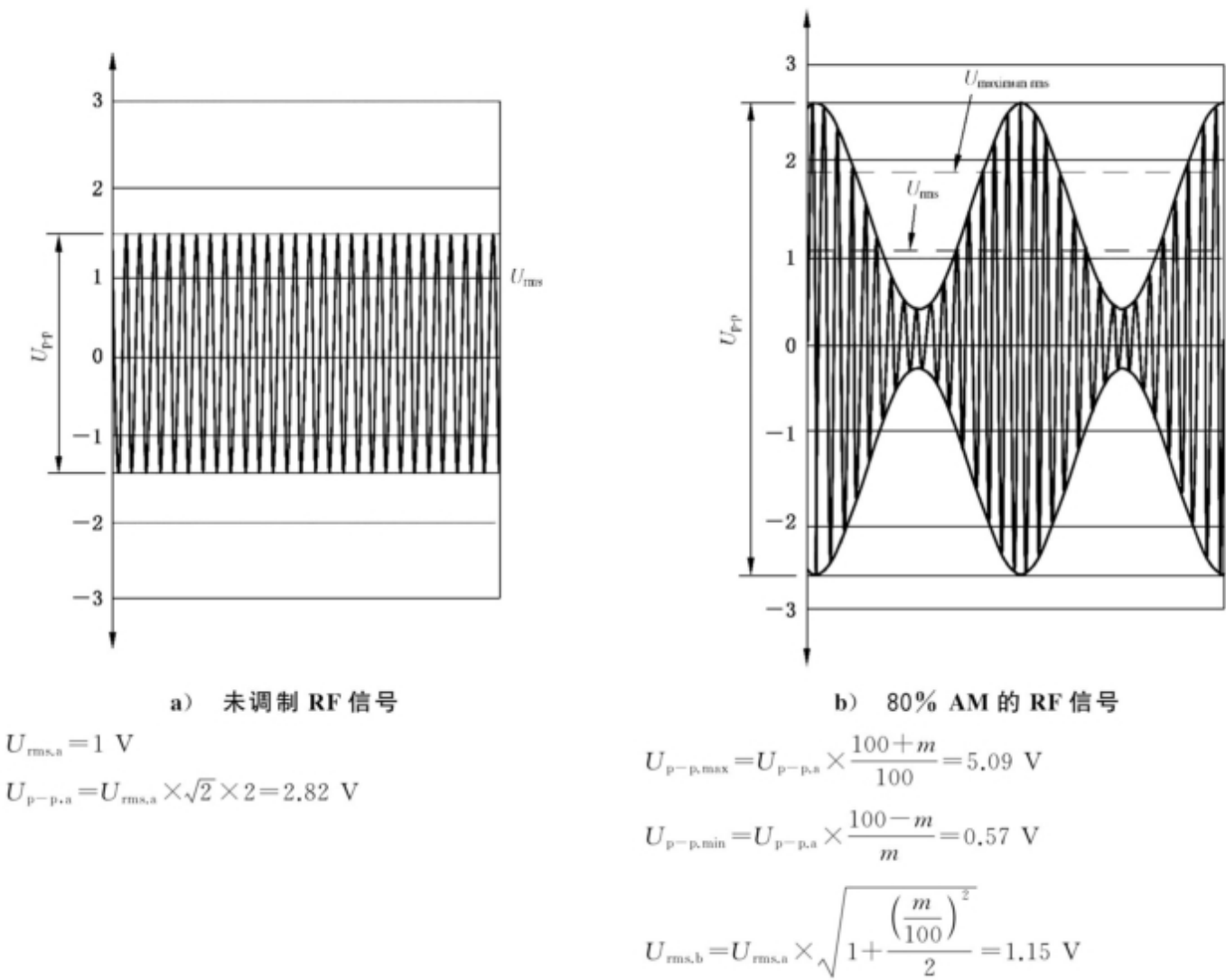


图 1 规定 80% AM 试验信号和发生的波形

产品委员会可为 EUT 选择替代调制方案(见附录 A)。

5.2 试验频率范围

本文件定义了 80 MHz 以上频率范围的试验,仅受试验仪器能力的限制。

有关其他基础标准中定义的频率范围和试验方法的选择以及本文件在 80 MHz 以下的应用的更多信息,请参见附录 F。

产品委员会选择用于试验的频率或频率范围可以是仅限于有意射频发射装置实际工作的频率或频

率范围。

产品委员会可以要求特定的试验等级和调制类型(作为 80%AM 的替代品)。

注 1: 试验频段涵盖数字移动电话和其他有意射频发射设备的特定频段。

注 2: IEC TR 61000-2-5 和 CISPR TR 31 包含关于已知分配给特定无线电服务的频率和功率电平的信息。

6 试验设备

6.1 试验仪器

推荐下列类型的试验设备。

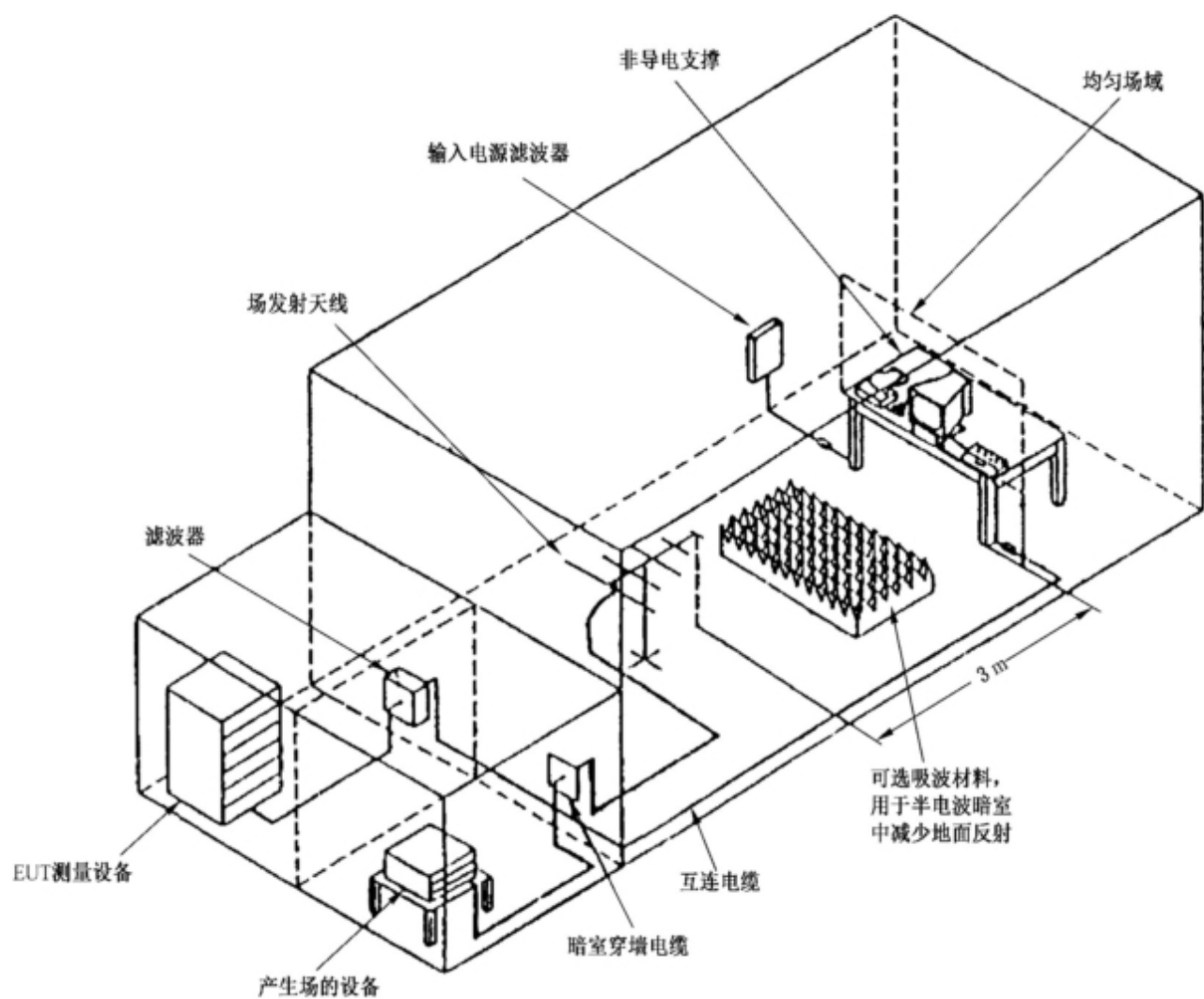
- 电波暗室:具有合适的尺寸,能维持相对于 EUT 来说具有足够空间的 UFA。另外可额外安装一些吸收材料可以减弱室内的反射。
 - 电磁干扰(EMI)滤波器:应注意确保滤波器在连接线路上不致引起谐振效应。
 - 射频信号发生器:产生的信号能够覆盖所有试验的频带,并且至少能够进行表 2 中规定的幅度调制。为了避免谐波导致的问题,必要时采用低通或带通滤波器。
 - 功率放大器:用于放大信号(未调制的和调制的)并提供驱动天线达到所需场强等级的功率。
 - 场强发射天线:能够满足频率特性要求的双锥、对数周期、喇叭或其他线性极化天线系统(见附录 B)。
 - 各向同性场强探头:具有足够的频率范围和灵敏度来测量产生的场强(关于电场探头的电平设置方法,见附录 K)。
 - 正向功率测量装置:可使用定向耦合器和功率计,或在放大器和天线之间插入正向功率检测器或监视器。
 - AE:用于记录试验规定场强所需的功率电平和控制产生试验场强的电平。
- 应注意确保试验设备具有充分的抗扰度。试验仪器引起的 MU 由附录 J 规定。

6.2 试验设施的描述

由于试验所产生的场强高,应在屏蔽室中进行试验,以便符合有关禁止对无线通信干扰的规定。大多数采集数据的设备对抗干扰试验过程中所产生的电磁场很敏感,因此需要用屏蔽室在 EUT 与试验仪器之间提供一层“屏障”。应注意确保穿过屏蔽室的连线的传导和辐射有充分的衰减,以保证 EUT 的信号和功率响应的真实性。

试验设施为安装有吸波材料的屏蔽室,且屏蔽室具有足够的空间以安放 EUT,并对试验场强有充分的控制能力。包括电波暗室或调整后的半电波暗室,图 2 给出了一个示例。相关屏蔽室宜适合于安放发生场强的设备、监视设备和激励 EUT 的设备。

详细导则见附录 C。



注：图中为了简明而省略了墙上和顶部的吸波材料。

图 2 典型的试验设施举例

6.3 均匀场域(UFA)

6.3.1 UFA 的特征

本文件使用了 UFA(见图 3 和图 4)的概念,即场的垂直面,其变化在下文规定的范围内。6.3.2 和 6.3.3 中给出的方法用于证明试验设施和试验设备产生均匀试验场的能力。获得用于设置抗扰度试验所需场强的数据,并用于试验所有 EUT。

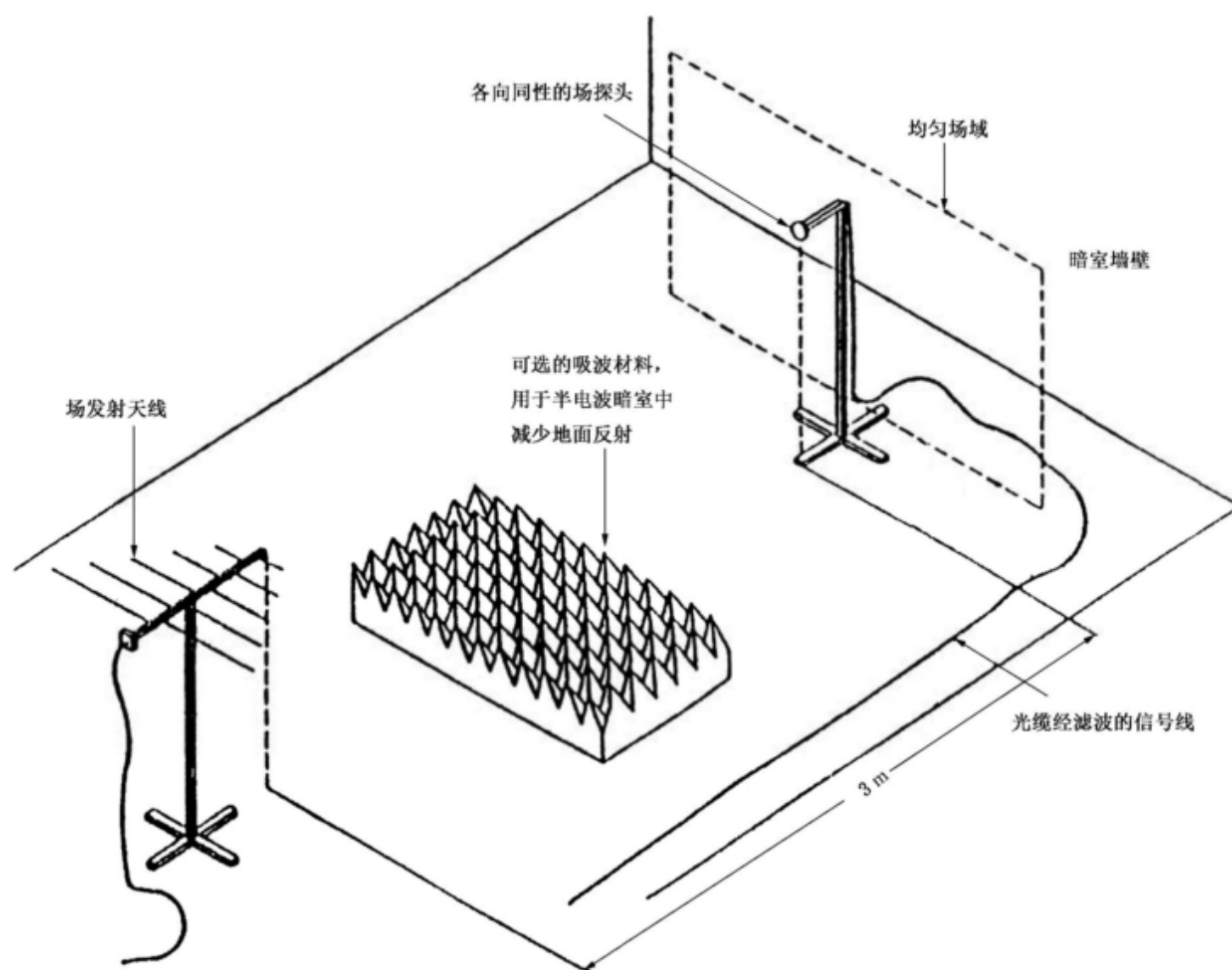


图3 电平设置布置

在没有 EUT 的情况下执行均匀场电平设置(见图 3)。在此过程中,确定 UFA 内的场强与施加到天线的正向功率之间的关系。在试验过程中,根据该关系和目标场强计算所需的正向功率。如果可证明系统的线性,则实际试验场强 E_T 可不同于电平设置布置 E_L (见 6.3.2 或 6.3.3 和附录 D)。只要用于试验的试验仪器的设置保持不变,该电平设置就是一直有效的。由于即使是很小的位移也会显著影响电磁场,因此记录试验仪器(如天线、吸收器、线缆等)的位置非常重要,尤其是在高频情况下。

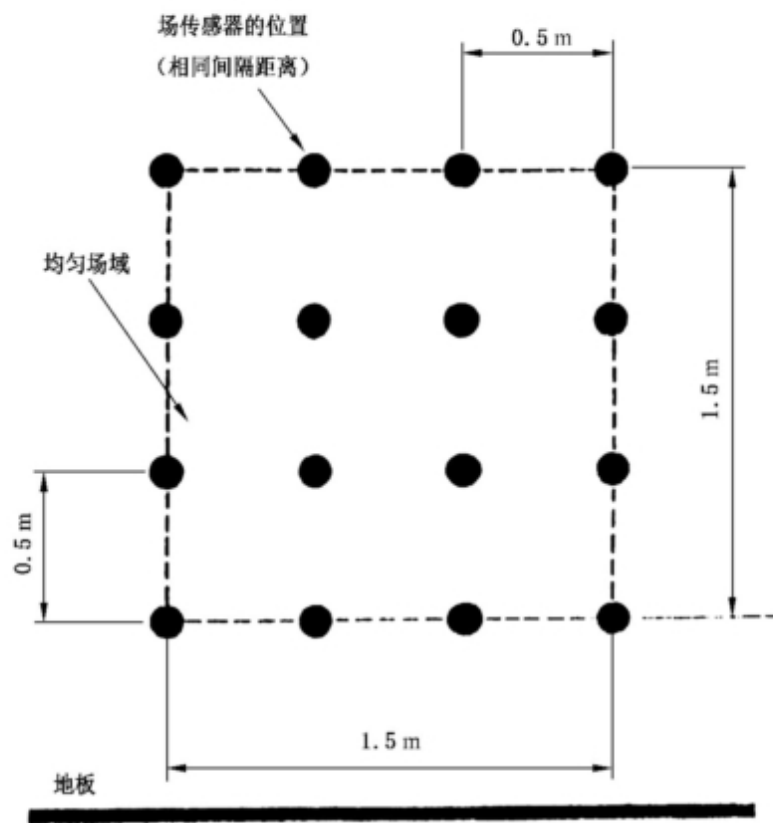


图 4 16 点均匀场域的尺寸

如果可满足 6.3.1 中的判据,UFA 的下边缘可在任何高度。目的是使 EUT 被场完全照射。然而,很难在金属地板附近建立 UFA,因此不可能对所有 EUT 进行完全覆盖。详见第 7 章。

用于试验的整个区域的电平设置宜每年进行一次,当室内布置发生变化时(更换吸波材料、试验区域位置移动、设备改变等)也宜重新进行电平设置。

发射天线与 UFA 之间的距离应能满足 UFA 的要求。UFA 与发射天线的距离首选为 3 m(见图 3),探头至少距离场发射天线 1 m 以上。该距离是指从双锥天线的中心,或对数周期天线的顶端,或喇叭天线的前沿,或双脊波导天线的前沿到 UFA 的距离。所使用的距离应记录在案,并应与试验采用的距离相同。

UFA 的首选尺寸是 1.5 m×1.5 m,但是,如果 EUT 及其线缆(见 7.4)可用较小的 UFA 完全照射,则允许较小的 UFA 降到最低 0.5 m×0.5 m。对于 0.5 m×0.5 m 最小 UFA,第 5 个网格点被放置在 UFA 的中心。见图 5。

注 1: 能用间距更小的网格在部分 UFA 上的采样来验证场分布的均匀性。

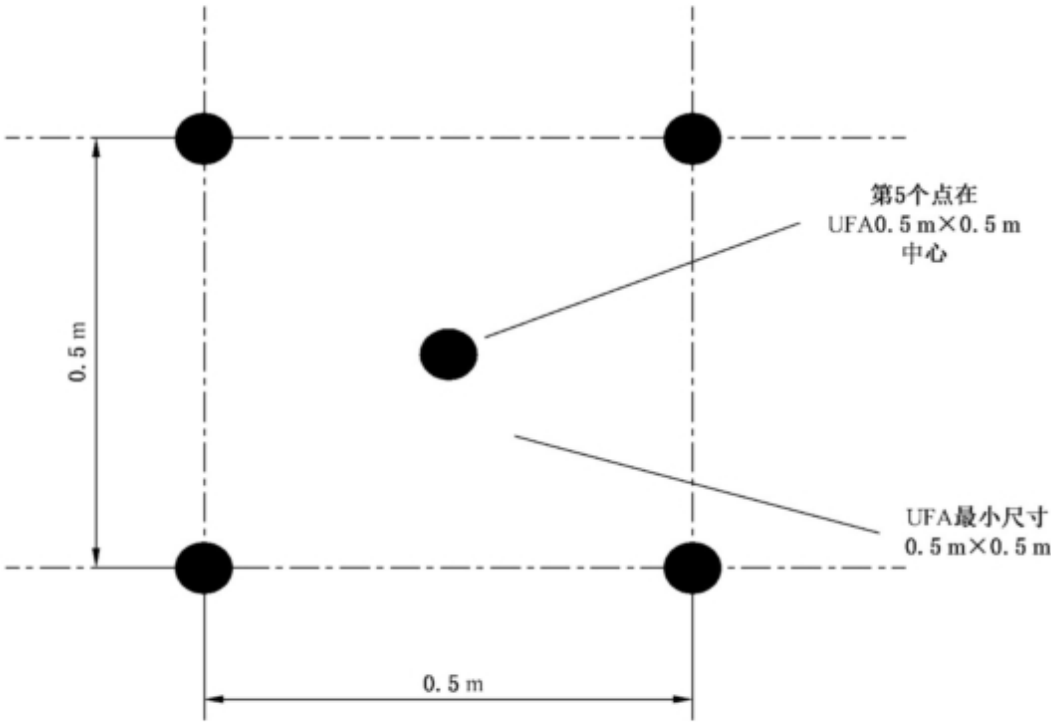


图 5 最小 UFA, 第五个点在网格中心

很难建立一个靠近金属地板的 UFA。额外的吸收材料可减少或解决这个问题(见图 2)。

将 UFA 分割成间距为 0.5 m 的一系列小格(见图 4, 1.5 m×1.5 m UFA 的举例)。在每个频点, 所有栅格点中有 75% 的点测得的场强幅值在标称值 0 dB~+6 dB 范围内(例如, 如果 1.5 m×1.5 m UFA 测量的至少 16 个点中的 12 个点在容差范围内), 即认为该场是均匀的。对于最小 UFA 为 0.5 m×0.5 m 的情况, 所有 5 个格点的场强均应在规定的容差范围内。

UFA 不需要是正方形, 只要它可由 0.5 m×0.5 m 正方形元素构成。选定的 UFA 至少使用到 1 GHz。

注 2: 在不同的频率点, 容差范围内的试验点可能不同。

0 dB~+6 dB 作为容差范围, 是为确保场强不会在可接受的概率下降到标称值以下。6 dB 容差是在实际试验设施中可实现的最小范围。

当频率范围达到 1 GHz 时, 容差能达到+10 dB, 但是不能小于 0 dB, 允许调整容差的频率点数量不得超过整个试验频率点的 3%, 在试验报告中记录真实的容差。有争议时, 优先考虑 0 dB~+6 dB。

如果 EUT 需要被照射的表面大于 1.5 m×1.5 m, 且 UFA 最大的尺寸(推荐方法下)不能覆盖, 可对 EUT 表面进行一系列的照射试验(“部分照射”)。使用以下任一方法:

- 辐射天线应在不同的位置进行电平设置, 使得组合后的多个 UFA 覆盖 EUT 的表面, 然后依次在这些位置上对 EUT 进行试验。
- 将 EUT 移到不同位置, 在试验中使 EUT 的每个部分至少处于 UFA 一次。

每个天线位置都需要一个完整的场平设置。它不是为了照射延伸到 UFA 下边缘以下的 EUT 的部分(即落地式设备)。此外, 还可记录 UFA 以下区域的场特性。见 7.3。

表 3 给出了完全照射和部分照射的概念, 还给出了怎样应用的说明。

所有频率的首选方法是完全照射。如果不能使用完全照射, 则可应用一个或多个频率相关的替代方法。

表 3 应用完全照射和部分照射的均匀场域要求

频段	UFA 要求	
	完全照射法:当 UFA 全部覆盖 EUT 时 UFA 的尺寸(见 7.4)和电平设置要求(优选此方法)	部分照射法:EUT 及线缆的尺寸不符合 UFA 的尺寸(见 7.4)
至少到 1 GHz	UFA 最小尺寸 0.5 m×0.5 m。 UFA 的栅格尺寸以 0.5 m 步进(例如 0.5 m×0.5 m、0.5 m×1.0 m、1.0 m×1.0 m、1.5 m×1.0 m、1.5 m×2.0 m、2.0 m×2.0 m 等)电平设置的栅格步进为 0.5 m×0.5 m。	最小的 UFA 尺寸为 1.5 m×1.5 m。 UFA 的栅格尺寸以 0.5 m 步进(例如 1.5 m×1.5 m、1.5 m×2.0 m、2.0 m×2.0 m 等),电平设置的栅格步进为 0.5 m×0.5 m。 75%的电平设置点符合标准要求
1 GHz 以上	如果 UFA 大于 0.5 m×0.5 m,则要求至少 75%的电平设置点符合标准要求。 对于 0.5 m×0.5 m 的 UFA,100%(所有 5 点)的电平设置点应满足要求	最小的 UFA 尺寸为 0.5 m×0.5 m。 UFA 的栅格尺寸以 0.5 m 步进(例如 0.5 m×0.5 m、0.5 m×1.0 m、1.0 m×1.0 m、1.0 m×1.5 m、1.5 m×2.0 m、2.0 m×2.0 m 等)。 电平设置的栅格步进为 0.5 m×0.5 m。 如果 UFA 大于 0.5 m×0.5 m,则要求至少 75%的电平设置点符合标准要求。 对于 0.5 m×0.5 m 的 UFA,100%(所有 5 点)的电平设置点应满足要求

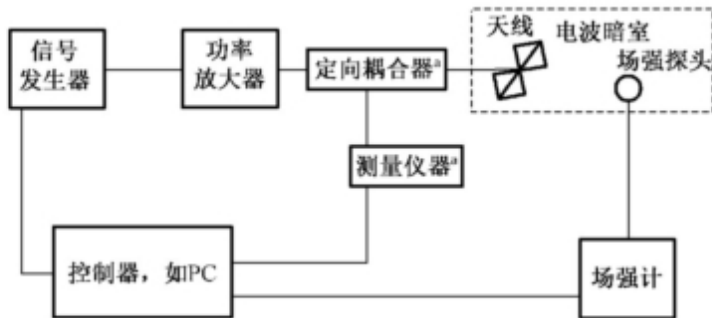
通常按图 6 所示的布置对电波暗室和半电波暗室进行场的电平设置。

应按下述的步骤用未调制的载波分别对水平和垂直极化方向进行电平设置。要求确保放大器在试验期间能够在线性要求范围内再现调制(见 6.3.2 或 6.3.3 和附录 D)。对于 80%AM,在场强至少为施加到 EUT 的场强的 1.8 倍的情况下执行电平设置过程。用 E_L 表示该电平设置场强, E_L 为仅电平设置时施加的场强,试验场强 E_T 不超过 $E_L/1.8$ 。

注 3: 能使用其他确保不饱和的电平设置方法(详见附录 D)。

如果使用 80%AM 以外的调制,则宜根据调制信号的峰值功率进行适当的饱和检查。

下述两种不同的电平设置方法,以 1.5 m×1.5 m 的 UFA 为例说明。这两种方法得出的场均匀性和测试电平设置是相同的。



° 定向耦合器和测量仪器可由放大器和天线之间的前置功率检测器或监视器代替。

图 6 试验布置

6.3.2 恒定场强电平设置方法

均匀场的恒定场强法应为：

- 在每个特定频率上建立。特定的频率是通过使用 8.4 中描述的频率步骤来确定。
- 按照图示逐个建立 UFA 电平设置点(见图 4)。

——通过相应地调整正向功率来建立。

——通过电平设置的场强探头测量。

应按图 6 确定测量场强所选择的正向功率,16 个测量点以 dBm 为单位进行记录。

水平和垂直极化方向的电平设置程序如下。

- a) 将场强探头置于 16 个栅格点的任意一点上(见图 4),将信号发生器输出的频率调至试验频率范围的下限频率(例如 80 MHz)。

注 1: 为了降低场强测量的不确定度,探头在每个栅格点的定向方式与探头校准时的定向方式相同。

- b) 调节场发射天线的正向功率,使所得场强等于电平设置场强 E_L ,记录正向功率读数。
- c) 使用第 8 章给出的频率步进。
- d) 重复步骤 b)和步骤 c),直至下一频率超过试验频率范围的上限频率。最后在此上限频率(例如 1 GHz)处重复步骤 b)。
- e) 对每一栅格点重复步骤 a)~步骤 d)。

在每一频率点:

- 1) 将 16 个点的正向功率读数按升序排列。
- 2) 从最大读数开始检查,向下至少有 11 个点的读数在最大读数的 $-6\text{ dB} \sim +0\text{ dB}$ 容差范围内。
- 3) 若没有 11 个点的读数在 $-6\text{ dB} \sim +0\text{ dB}$ 容差范围内,从紧邻的下一个数据开始以此类推重复上述程序(注意,在本例的 16 个点 UFA 中,在每个频点只有 5 次机会调整)。
- 4) 如果至少有 12 个点的读数在 6 dB 范围内则停止检查程序,将这些值中对应最大值的位置作为参考点。正向功率用 P_L 表示。
- 5) 确认试验系统(例如功率放大器)未处于饱和状态。假定 E_L 等于 1.8 倍 E_T ,在每个电平设置频点按以下程序操作:
 - i) 将信号发生器的输出从上述步骤中确定的建立正向功率 P_L 所需的电平降低 5.1 dB (-5.1 dB 即 $E_L/1.8$);
 - ii) 记录输出到天线的新的正向功率;
 - iii) 用 P_L 减去步骤 ii)中测到的正向功率。如果差值在 $3.1\text{ dB} \sim 7.1\text{ dB}$,则功率放大器未饱和且系统适用于试验。如果差值小于 3.1 dB ,则功率放大器饱和且不适合试验。

注 2: 若在某一特殊频率点, E_L 与 E_T 之间的比为 $R(\text{dB})$, $R = 20\log(E_L/E_T)$,则试验功率 $P_T = P_L - R(\text{dB})$,下标 L 和 T 分别代表电平设置和试验。

注 3: 步骤 5)描述如何检查所使用的放大器是否足够线性。详细参考资料见附录 D。

6.3.3 恒定功率电平设置方法

均匀场场强的建立和试验是按 8.4 规定的步长,通过一个电平设置过的场强探头,在每个特定频率调节正向功率,依次对 16 个栅格点的每个点(见图 4)进行电平设置。

应按图 6 确定测量初始位置场强所必需的正向功率并记录,对所有 16 个测量点施加相同的正向功率,并记录其在每一点建立的场强值。

水平和垂直极化方向的电平设置程序如下。

- a) 将场强探头置于栅格中 16 个点中的任意一点上(见图 4),将信号发生器输出的频率调至试验频率范围的下限频率(例如 80 MHz)。

注 1: 为了降低现场测量的不确定度,探头在每个网格点以与探针电平设置报告中描述的相同的方式定向。

- b) 调节发射天线的正向功率,使所得场强(加上对频率的场探头校正因子)等于电平设置场强 E_L ,记录正向功率及场强读数。
- c) 使用第 8 章的频率步进。
- d) 重复步骤 b)和步骤 c),直至下一频率超过试验频率范围的上限频率。最后在此上限频率(例

如1 GHz)处重复步骤 b)。

- e) 将场强探头移至栅格的另一点,在每一频率点采用上述步骤 a)~步骤 d),并记录步骤 b)的场强和所施加的正向功率值。
- f) 对每一栅格点重复步骤 e)。

在每一频率点:

- 1) 将 16 个场强读数按升序排列。
- 2) 选择某点的场强值作为参考值,计算所有其他点相对于该点的偏差值(分贝)。
- 3) 从场强的最小读数开始检查,向上至少有 11 个点的读数在最小读数的 0 dB~+6 dB 容差范围内。
- 4) 若没有 11 个点的读数在 0 dB~+6 dB 容差范围内,从紧邻的下一个数据开始以此类推重复上述程序(注意,在本例的 16 个点 UFA 中,在每个频点只有 5 次机会调整)。
- 5) 如果至少有 12 个点的读数在 6 dB 范围内则停止检查程序,从这些读数中找出最小场强的点作为参考点。
- 6) 计算在参考点建立规定场强所需的正向功率。正向功率用 P_L 表示。
- 7) 确认试验系统(例如功率放大器)未处于饱和状态。假定 E_L 等于 1.8 倍 E_T ,在每个电平设置频点按以下程序操作:
 - i) 建立正向功率 P_L [正如 1)所述]所需的电平后,信号发生器输出电平降低 5.1 dB(-5.1 dB 即 $E_L/1.8$);
 - ii) 记录输出到天线的新的正向功率;
 - iii) 用 P_L 减去步骤 ii)中测到的正向功率。如果差值在 3.1 dB~7.1 dB,则功率放大器有足够的线性,且试验系统适用于试验,否则试验系统不适合试验。

注 2: 若在某一特殊频率点, E_L 与 E_T 之间的比为 R (dB), $R = 20\lg(E_L/E_T)$, 则试验功率 $P_T = P_L - R$ (dB), 下标 L 和 T 分别代表电平设置和试验。

注 3: 步骤 7)描述如何检查所使用的放大器是否足够线性。有关更多信息,请参阅附录 D。

7 试验布置

7.1 通则

所有 EUT 的试验都应在尽可能接近实际安装配置条件下进行。除非另有规定,布线应按制造商推荐的程序进行,设备应放置在其壳体内,并安装上所有盖板和接口面板。

不需要安装金属接地面。当需要某种方法来支撑试验样品时,该方法应由非金属、非导电材料构成。然而,设备外壳或外壳的接地应与使用说明中所述的建议一致。

当 EUT 由落地部件和台式部件组成时,应保持正确的相对位置。

在抗扰度试验期间,EUT 的受试面应与 UFA 重合。典型 EUT 设置如图 7、图 8a)和图 8b)所示。

非导电支撑用于防止 EUT 的偶然接地和电磁场的扭曲。为了保证后者,支撑体宜是非导电的,而不是在金属结构上涂一层绝缘涂层。

在更高频率(例如 1 GHz 以上),由木头或玻璃纤维增强塑料制成的桌子或支撑物可导致反射。宜使用低介电常数材料,例如硬聚苯乙烯,以避免场畸变而降低场均匀度的等级。

为了使每个 EUT 面与 UFA 一致,可对 EUT 位置进行调整。

7.2 台式设备的布置

待测设备放置在 UFA 内的一个非导电的试验台上。非导电支架的高度宜为 (0.8 ± 0.05) m。即使 UFA 的下边缘并非起始于 0.8 m 高度,也要指定这个高度。

按照相关安装说明,连接好设备的电源线和信号线。

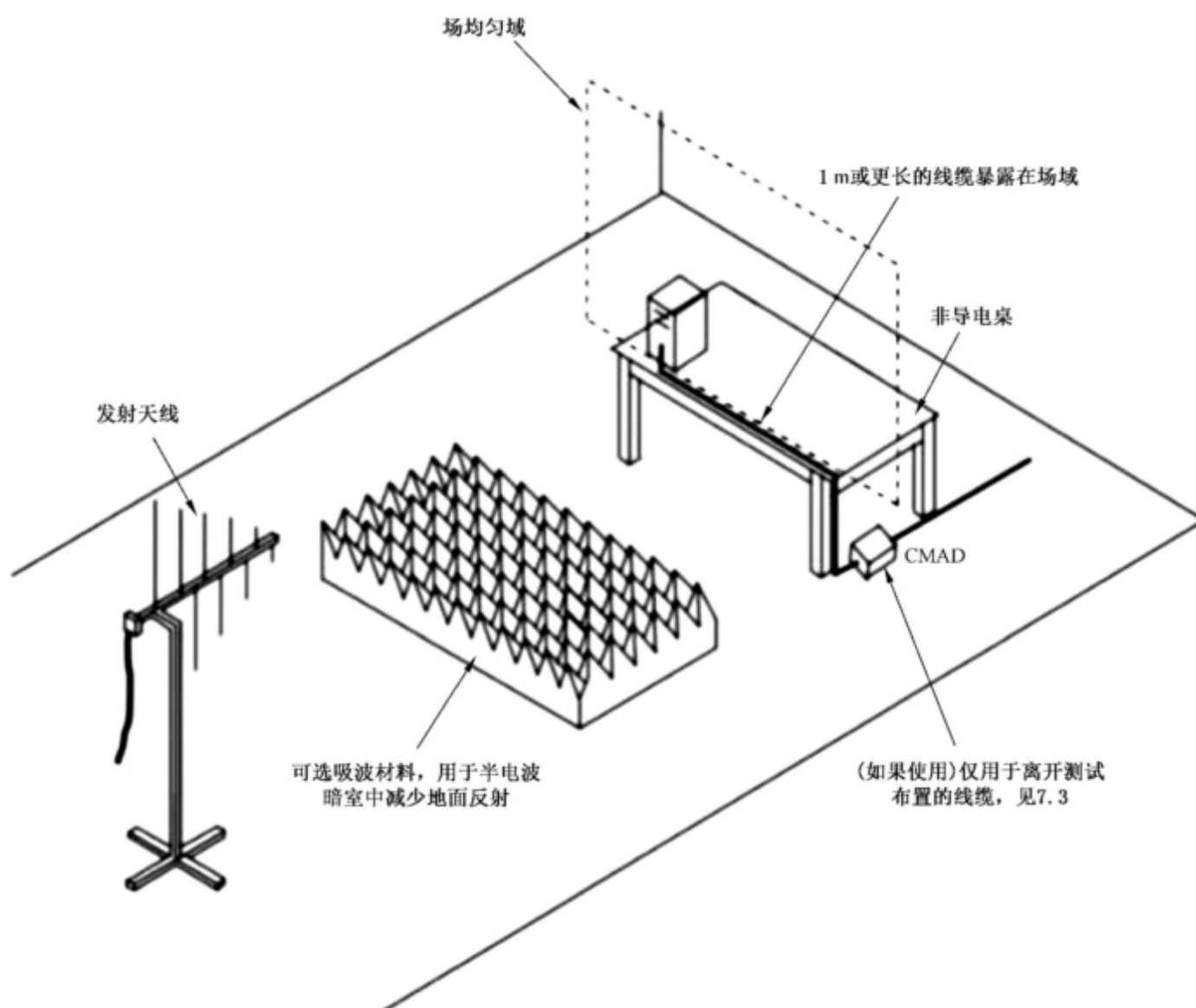
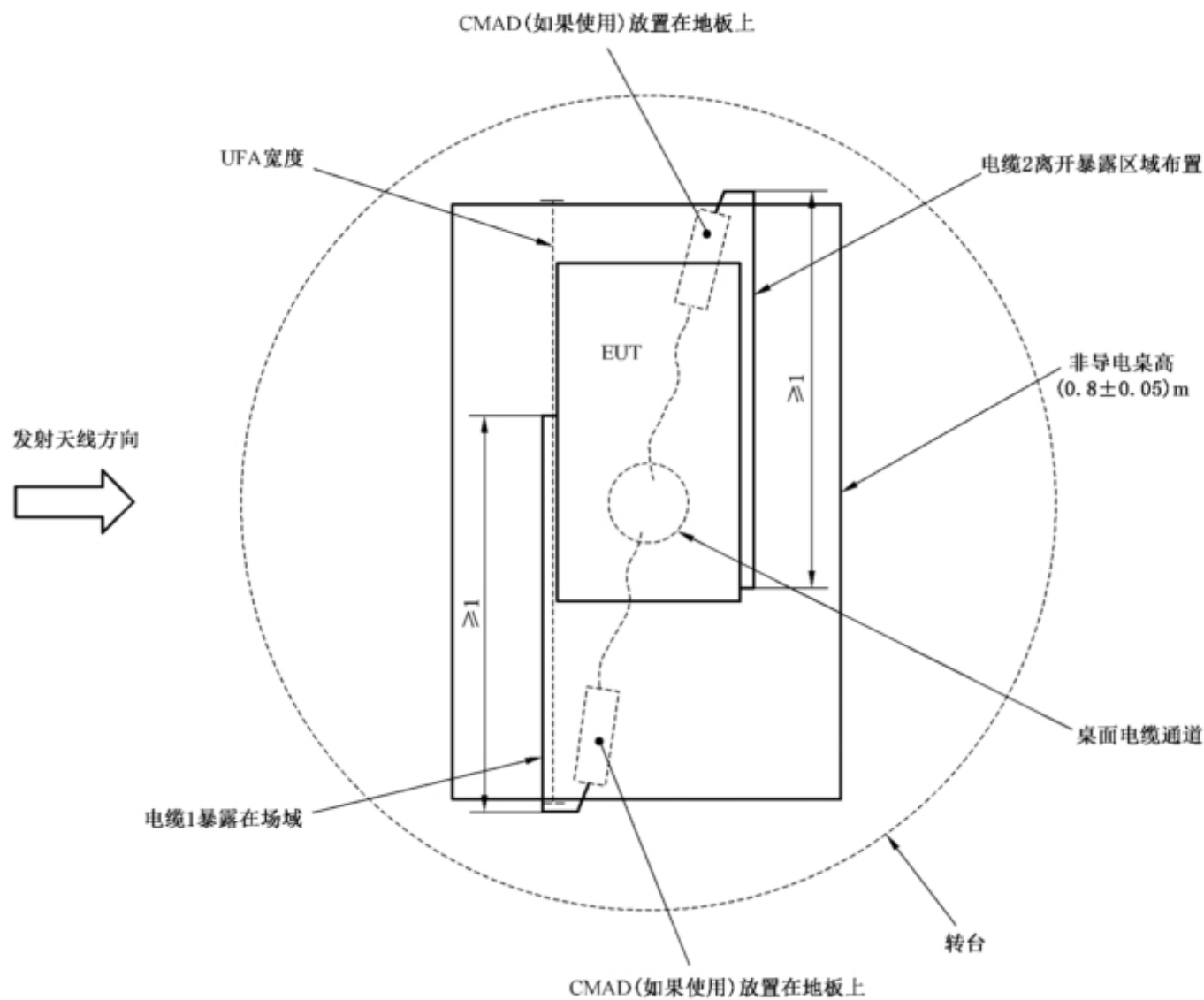
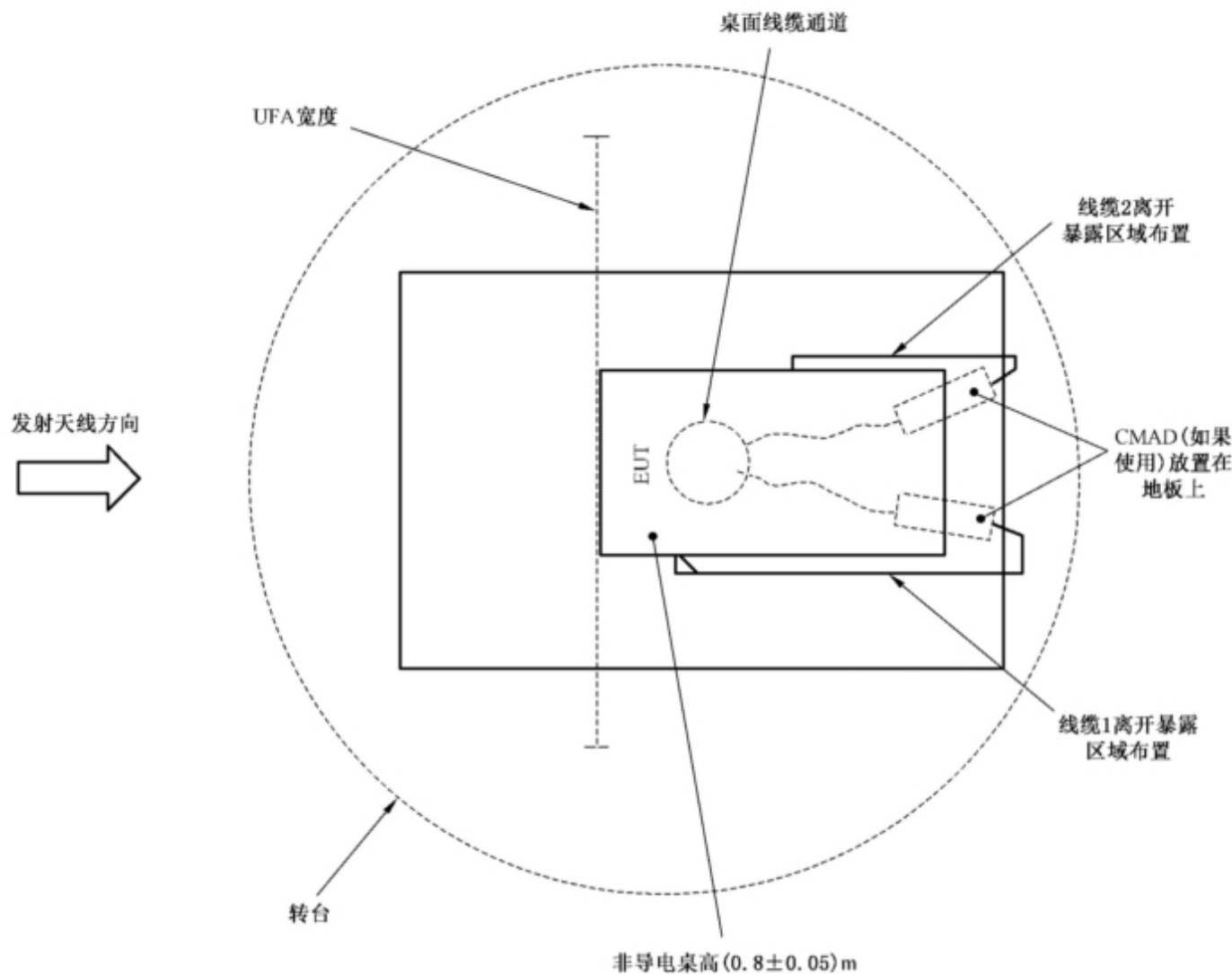


图7 具有离开试验区域线缆的台式 EUT 布置和线缆布局示例



注 1：当布置改变 180°时，能照射线缆 2。
a) 具有离开试验区域线缆的台式 EUT 布置和线缆布局示例(俯视图)

图 8 EUT 布置示例(俯视图)



注 2：线缆和 EUT 位置已调整到与 UFA 一致。

注 3：在这个方向上，没有线缆被电磁场有意照射。

b) 相同 EUT 的一种替代布置示例(EUT 旋转 90°且线缆布局不同)(俯视图)

图 8 EUT 布置示例(俯视图)(续)

7.3 落地式设备的布置

落地式设备应安装在离地面 0.05 m 或以上的非导电支撑物上，以防止 EUT 偶然接地和场的畸变。支撑物最好是非导体，而不是金属结构上的绝缘涂层。

落地式设备的位置宜最大限度地扩大 EUT 在 UFA 内的面积。

如果由于 EUT 其重量较重或物理尺寸较大或安全原因，设备不能提高到 UFA 的高度或从其运输支撑(例如，运输托盘)移走，这种变化应记录在试验报告中。如果 EUT 延伸超过 UFA 下边缘 0.5 m，在 UFA 下边缘 50%高度(所有 0.5 m 水平分离的电平设定点)的电磁场大小都应被记录在电平设定点记录中。这个高度的数据不考虑试验设施和试验等级的适用性。

注：可使用非导电的轮子作为支撑物。

关于大型和重型 EUT 放置的指导见附录 H。

根据设备相关的安装说明连接设备的电源和信号线。

7.4 线缆的布置

线缆应连接到 EUT，并按照制造商的安装说明书在试验场上进行布置，要求重现典型的和使用最多的安装。

应使用制造商规定线缆的类型和连接器,如果对 EUT 的进、出线没有规定,则应使用非屏蔽平衡导线。

如果产品规范要求的接线长度小于或等于 1 m,则应按照指定的长度进行试验。如果规定的长度大于 1 m,或没有规定,则应按照典型安装方法选择线缆长度。除非上面另有规定,否则线缆在垂直或水平方向上暴露在电磁场中的长度应至少为 1 m 线缆。线缆差异导致无法按照标准布线(例如,不能操纵的重型或刚性线缆)应在试验报告中说明。与 UFA 正交布线的线缆不利于接收场强信号,因此,不被认为算是暴露在场内的线缆的组合长度。暴露于场的线缆布线宜尽可能贴近 UFA。

连接 EUT 元件之间过长的线缆应以低感性方式在线的中心位置捆扎成一束线缆。线缆差异导致无法按照标准布线(例如,不能操纵的重型或刚性线缆)应在试验报告中说明。

EUT 的每个面受辐射时,不需要将每根线缆暴露在场内。但每根线缆,至少在 EUT 一个受试角度上置于 UFA 区域从而暴露在场内。不是有意暴露在场内的线缆(现有布置)应以一种减少其与电磁场耦合的方式进行布线。可重新定位线缆在每个受辐射面的布线情况。对于带有大量连接线缆的 EUT,或者典型安装方法限制了线缆这一部分线缆置于 UFA 区域内,宜尝试将连接线缆置于辐射场内。

关于线缆布置、线缆暴露于辐射场和 EUT 布置的建议实践指南,见附录 G。

如果产品委员会确定需要对多余的线缆长度进行去耦(例如,对离开试验区域的线缆),则采用的去耦方法不应影响 EUT 的运行。

如果对线缆去耦,可使用 CMAD。CMAD 的阻抗和吸收特性见 CISPR 16-1-4。CMAD 可用于降低试验区域外线缆对辐射抗扰度试验结果的影响。如果使用 CMAD,离开试验区域的线缆应在到达地面的位置进入 CMAD,如图 7 所示。CMAD 应始终平放在地板上。每根要去耦的线缆都宜用一个单独的 CMAD 处理。

为了避免饱和,应考虑 CMAD 的电流能力,特别是对于高共模电流电源线(如逆变器输出端口)。

如果使用 CMAD,则如下。

- 去耦可适用于任何类型的线缆(例如电力、电信和控制)。
- 对于最多有三根线缆离开试验区域的试验设置,每根线缆都宜用 CMAD 去耦。
- 对于超过三根线缆离开试验区域的试验布置,电源线应优先使用 CMAD(除非产品委员会另有规定)。在此之后,剩余线缆的 CMAD 宜放置在更敏感信号的线缆上。总共可使用多达三个 CMAD。使用 CMAD 的线缆应记录在试验报告中。

关于线缆布线和 CMAD 的更多信息见附录 G。

7.5 人体携带设备的布置

人体携带设备(见 3.1.15)的试验方法与台式设备相同。然而,这可能涉及过测试或欠测试,因为在电平设置和试验过程中没有考虑人体的特征。建议产品委员会规定使用一个有适当介质特性的人体模拟器。

8 试验程序

8.1 概述

试验程序包括:

- 试验电平、频率范围和试验调制方式;
- 实验室参考条件的验证,包括预检查产生的场强;
- 预确认设备的正确运行;
- 试验的实施;

——试验结果的评定(见第9章)。

8.2 实验室参考条件

8.2.1 通则

为了尽量减少环境参数对试验结果的影响,试验应在8.2.2和8.2.3规定的气候和电磁参考条件下进行。

8.2.2 气候条件

除非通用标准或产品标准委员会另有规定,实验室的气候条件应在EUT和试验设备运行规定的任何限制范围内。

如认为有足够证据证明本文件所述现象的影响受气候条件的影响,则宜提醒负责本文件的委员会注意。

8.2.3 电磁环境

实验室的电磁条件应保证EUT的正常运行,且不能影响试验结果。

8.3 试验的实施

应按照试验计划进行试验,该计划应包含核查EUT的运行是否符合技术指标要求。

应在EUT典型(通常)运行条件下进行试验。

试验计划宜包含下列内容:

- EUT尺寸;
- EUT典型运行条件;
- 确定EUT按台式、落地式,或是两者结合的方式进行试验;
- 对落地式EUT,需确认EUT高度;
- 所用试验设备的类型;
- 扫频速率,驻留时间和频率步进;
- 均匀场域的尺寸和形状;
- 是否使用部分照射方法;
- 适用的试验等级和调制方式;
- 所用互连线的类型与数量以及(EUT的)接口;
- 可接受的性能判据;
- EUT运行方法的描述。

本章节中描述的试验步骤是为了第6章中规定的场强发生天线的使用。

由试验功率 P_L 导出的正向功率 P_T 宜作为确定试验场强的参考参数。请见6.3.2或6.3.3的注2。

试验前,应确认试验设备/系统运行正常。这可通过在一个或多个频率上测量UFA内一个或多个点的场强来实现。

EUT最初放置的一面与UFA平面重合。被照射的EUT面应包含在UFA中,除非应用了部分照射。关于电磁场电平设置和部分照射的使用,见6.3。

扫频过程中的信号应使用5.1中定义的调制信号,当需要时,可暂停扫描以调整射频信号电平或振荡器波段开关和天线。扫频过程中频率逐步增加,步长不超过前一频率的1%。

调制载波在每个频率上的驻留时间不应少于EUT动作和响应所需的时间,但在任何情况下均不应少于0.5 s。

注 1: 在每个频点,当试验条件稳定时,驻留时间开始。

为了减少试验时间,在一个驻留时间内可同时施加多个频率(多个信号试验),前提是在聚合信号上满足 6.3.2 步骤 5)或 6.3.3 步骤 7)的线性要求。在每一个信号频率上,试验电平应为每次试验的电平设置程序产生的电平。同样的调制同时应用于每个信号。互调信号应像谐波一样处理,并进行检查,以确保它们不会造成显著影响(见关于调制效应的附录 I 和关于试验结果评估的第 9 条)。

发射天线应对 EUT 的四个侧面逐一进行试验。当 EUT 能以不同方向(如垂直或水平)放置使用时,各个侧面均应试验。经过技术论证,试验时一些 EUT 可采用较少面面向发射天线。在其他情况下,例如依据 EUT 类型和尺寸或试验频率,可能需要照射至少 4 个方位。

注 2: 随着 EUT 电尺寸的增长,其天线方向图的复杂性也会增加。天线方向图的复杂性会影响确定最低抗扰度必要的试验方向的数量。

需在发射天线的两种极化状态下对 EUT 的每一侧面进行试验,一次在天线垂直极化位置,另一次在天线水平极化位置。

在试验过程中应尝试使 EUT 充分运行,并在所有选定的敏感运行模式下进行抗扰度试验。推荐使用特定的运行程序。

8.4 步进

当频率范围是增量扫频时,扫频过程中的信号应使用 5.1 中定义的调制信号,当需要时,可暂停扫描以调整射频信号电平或振荡器波段开关和天线。扫频过程中频率逐步增加,步进不超过前一频率的 1%。这个最大步进既适用于 6.3.2、6.3.3 的电平设置程序,也适用于 8.3 中的试验。

9 试验结果的评定

试验结果应按 EUT 的功能丧失或性能降级进行分类。这些分类与制造商、试验申请者规定的,或者制造商与用户之间商定的性能等级有关。推荐的分类如下:

- a) 在制造厂或委托方或用户规定的技术规范限值内性能正常;
- b) 功能暂时丧失或性能暂时降低,但在干扰停止后 EUT 能自行恢复,无须操作者干预;
- c) 功能暂时丧失或性能暂时降低,但需操作者干预才能恢复正常;
- d) 因硬件或软件损坏,或数据丢失而造成不能自行恢复至正常状态的功能丧失或性能降低。

试验结果的评估判定应基于 EUT 在驻留时间内的性能。

EUT 性能评价宜以单个信号的影响系为基础。如果在试验过程中使用了多信号试验,宜确保任何记录的性能下降是由单个试验信号造成的,而不是由多个试验信号的组合造成的。该分类方法可作为产品委员会制定通用、产品或产品类标准性能判据的指南,或作为制造商与用户之间协商的性能判据的框架,例如在没有合适的通用、产品或产品类标准时。

10 试验报告

试验报告应包含能重现试验的全部信息,尤其是下列内容:

- 本文件第 8 章要求的试验计划中规定的内容;
- EUT 和 AE 的标识,如商标名称、产品型号和序列号;
- 试验设备标识,如商标名称、产品型号和序列号;
- 任何进行试验所需的特殊环境条件;
- 进行试验所必需的任何特定条件;
- 制造商、委托方或用户规定的性能等级;

- 在通用、产品或产品类标准中规定的性能指标；
- 在试验过程中或试验后，观察到的对 EUT 的影响及持续时间；
- 试验通过/不通过的判定理由（根据通用、产品或产品类标准规定的性能判据或制造商与用户达成的协议）；
- 采用的任何特殊条件，如线缆长度、类型，屏蔽或接地状况，EUT 的运行条件，均要符合规定要求；
- 与 UFA 的尺寸和位置有关的 EUT 位置的任何额外信息；
- 6.3.1 要求的任何与 UFA 容差相关的附加信息；
- 线缆和设备位置和方向的描述和/或图片；
- 任何偏离本文件的内容。

附录 A
(资料性)

保护(设备)抵抗数字无线电话射频辐射的试验调制方式的选择原理

A.1 可选调制方式综述

本文件制定时主要考虑以下调制方式：

- 正弦波幅度调制,1 kHz,80% AM。
- 方波幅度调制,200 Hz,占空比 1 : 2,100% AM。
- 近似模拟各种系统特性的脉冲射频信号,如对于 GSM 的,在 200 Hz 占空比为 1 : 8 的脉冲射频信号;对于 DECT 便携设备的,在 100 Hz 占空比 1 : 24 的脉冲射频信号等 (GSM 和 DECT 的定义见附录 D)。
- 精确模拟各种系统的脉冲射频信号,例如对于 GSM,在 200 Hz 占空比 1 : 8 的叠加次生效应如断续发射模式(2 Hz 调制频率)和复帧效应(8 Hz 频率分量)。
- 用于广播和无线电通信的 OFDM 信号。

各系统的优缺点见表 A.1。

表 A.1 调制方式比较(GSM 和 DECT 的定义见附录 G)

调制方式	优点	缺点
正弦波 AM	1. 实验表明,若最大 RMS 电平相同,在不同类型的非恒定包络调制模式的干扰效应方面可建立良好的相关性。 2. 不必规定(或测量)TDMA 脉冲的上升时间。 3. 在本文件及 IEC 61000-4-6 中采用。 4. 场容易产生且监测的仪器容易获得。 5. 对模拟的无线电设备,EUT 中的解调会产生可用窄带电平表测量的音频响应,因而减少了背景噪声。 6. 在较低频率时,已经表明能有效模拟其他型式的调制模式(如 FM,相位调制,脉冲调制)	1. 不能模拟 TDMA。 2. 对于二次方律接收机,则试验略为严酷。 3. 可能遗漏某些失效机理
方波 AM	1. 类似于 TDMA。 2. 能普遍使用。 3. 可能暴露“未知”的失效机理(对射频包络的较大速率变化较敏感)	1. 不能精确模拟 TDMA。 2. EUT 解调时,会产生宽带音频响应,该响应能被宽带电平表测量,因而增加了背景噪声。 3. 需规定上升时间
RF 脉冲	1. 能很好模拟 TDMA。 2. 可能暴露“未知”的失效机理(对射频包络的较大速率变化较敏感)	1. 为匹配不同系统(如 GSM、DECT 等),需改变调制细节。 2. EUT 解调时,会产生宽带音频响应,该响应能被宽带电平表测量,因而增加了背景噪声。 3. 需规定上升时间
OFDM	1. 数字调制的良好表现。 2. 可能暴露“未知”失效机制(对射频包络的较大速率变化率敏感)	1. 为匹配不同的无线电服务(如 LTE、DAB、DVB-T),需要改变 OFDM 参数的细节

A.2 试验结果

为评定骚扰信号所用调制方法与所产生干扰的相关性,进行了一系列的试验。

调制方式方面的研究结果如下:

- a) 1 kHz 80% AM 的正弦波;
- b) 类似 GSM 的 RF 脉冲,200 Hz,占空比 1:8;
- c) 类似 DECT 的 RF 脉冲,100 Hz,占空比 1:2(基站);
- d) 类似 DECT 的 RF 脉冲,100 Hz,占空比(1:24 便携设备)。

对每种场合,仅使用一种类似 DECT 的调制。

试验结果汇总于表 A.2 与表 A.3。

表 A.2 相对干扰电平^a

调制方式 ^b		1 kHz 80% AM 调制的正弦波 dB	类似 GSM 的射频脉冲, 200 Hz,占空比 1:8 dB	类似 DECT 的射频脉冲, 100 Hz,占空比 1:24 dB
设备	音频响应			
助听器 ^c	未加权的 21 Hz~21 kHz	0 ^d	0	-3
	A 加权的	0	-4	-7
模拟电话 ^e	未加权的	0 ^d	-3	-7
	A 加权的	-1	-6	-8
无线电装置 ^f	未加权的	0 ^d	+1	-2
	A 加权的	-1	-3	-7
^a 对骚扰的音频响应为干扰电平。干扰电平低则表示抗扰度等级高。 ^b 重点:调整载波幅度,使所有调制的干扰信号(暴露)的最大有效值(见 3.1.19)相同。 ^c 暴露是通过入射 900 MHz 电磁场产生的。类似 DECT 的调制的占空比为 1:2 而不是 1:24,音频响应是测量连接 0.5 m 长聚氯乙烯管的人工耳的声学输出。 ^d 这种情况被选作音频响应的参考点,即 0 dB。 ^e 暴露方式是在电话线施加 900 MHz 的射频电流,音频响应为电话线上测得的音频电压。 ^f 暴露方式是在电源线缆施加 900 MHz 的射频电流,音频响应为用麦克风测得的喇叭音频输出。				

表 A.3 相对抗扰度电平^a

调制方式 ^b		1 kHz 80% AM 调制的正弦波 dB	类似 GSM 的射频脉冲, 200 Hz,1:8 的占空比 dB	类似 DECT 的射频脉冲, 100 Hz,1:24 的占空比 dB
设备	响应			
电视机 ^c	明显干扰	0 ^d	-2	-2
	强干扰	+4	+1	+2
	显示器关闭	~+19	+18	+19
RS232 接口的 数据终端 ^f	对显示屏幕干扰	0 ^d	0	—
	数据错误	>+16	>+16	—

表 A.3 相对抗扰度电平^a(续)

调制方式 ^b		1 kHz 80% AM 调制的正弦波 dB	类似 GSM 的射频脉冲， 200 Hz, 1 : 8 的占空比 dB	类似 DECT 的射频脉冲， 100 Hz, 1 : 24 的占空比 dB
设备	响应			
RS232 调制解调器 ^f	数据错误(从电话机注入干扰时)	0 ^d	0	0
	数据错误(从 RS232 注入干扰时)	> +9	> +9	> +9
可调式实验室电源 ^g	DC 输出电流 2% 误差	0 ^d	+3	+7
SDH 交叉连接 ^h	出现误码	0 ^d	0	—
^a 表中数据为使用各种调制方式产生相同干扰电平信号(暴露)所需要的最大 RMS 电平值(见 3.1.19)的相关数据。分贝值高则表示抗扰度等级高。 ^b 调节骚扰信号以便在各种调制方式下具有相同的响应(干扰)。 ^c 暴露方式是在线缆电源线缆施加 900 MHz 的 RF 电流。响应为屏幕上产生的干扰电平。由于不同场合状况下干扰的类型不同,使得评价结论更带有主观的成分。 ^d 这种情况被选定为参考电平,即 0 dB。 ^e 暴露方式为在 RS232 线缆端施加 900 MHz 的 RF 电流。 ^f 暴露方式为在电话或 RS232 线缆施加 900 MHz 的 RF 电流。 ^g 暴露方式为在直流输出线缆施加 900 MHz 的 RF 电流。 ^h SDH 为同步数据层,暴露方式是入射 935 MHz 电磁场。				

使用正弦波 AM 和脉冲调制(占空比 1 : 2)以高达 30 V/m 场强对下列数字设备进行试验:

- 带有微处理器的手持式烘干器;
- 带 75 Ω 同轴线缆的 2 Mb 调制解调器;
- 带 120 Ω 双绞线的 2 Mb 调制解调器;
- 带微处理器、视频显示和 RS485 接口的工业用控制器;
- 带微处理器的火车显示系统;
- 带调制解调器输出的信用卡终端设备;
- 2/34 Mb 数字多路(复用)器;
- 以太网转发器(10 Mb/s)。

所有故障均与设备的模拟功能有关。

A.3 二次调制效应

在试图精确模拟数字无线电话系统的调制时,重要的是不仅要模拟主要的调制,还要考虑可能出现的任何次要调制影响。

例如,对 GSM 和 DCS 1800 系统,为了抑制每隔 120 ms 的突发脉冲(因而产生了接近 8 Hz 的频率分量),会产生复帧效应。可选的非连续发射模式(DTX)也可引起 2 Hz 的附加调制。

A.4 结论

上述研究示例表明,骚扰响应与所用的调制方式无关。当比较不同调制方式的影响时,确保所施加

骚扰信号具有相同的最大 RMS 值是很重要的。

当不同类型的调制方式间存在明显的差别时,正弦波 AM 调制总是最严酷的。

当正弦波调制和 TDMA 模式间存在不同的响应结果时,对产品的特定差别可通过在产品标准中适当调整合格判据来解决。

概括地说,正弦波调制有如下优点:

- 模拟系统的窄带检测响应减少了背景噪声问题;
- 普遍适用性,例如没有试图模拟干扰源的特性;
- 对所有频率,其调制相同;
- 至少与脉冲调制的严酷度相当。

基于上述因素,本文件规定的调制方式为 80% 正弦波 AM 调制。建议有关产品标准化委员会仅在特殊原因要求不同调制方式时才改变为其他调制方式。

附录 B

(资料性)

场发射天线

B.1 双锥天线

该天线由一个巴伦与两个对称的锥形振子组成,它能提供较宽的频段响应,用于收发。
这种紧凑的天线结构在电波暗室内使用起来较为理想,其邻近效应能降到最小。

B.2 对数周期天线

对数周期天线是由连接到一根传输线上、不同长度的偶极子组成的天线阵。
这些宽频带天线具有相对高的增益和低的电压驻波比。

B.3 组合天线

对数周期天线和双锥天线可进行组合。这类组合可增加频率范围,并且仅使用一副天线就可覆盖从 80 MHz 以下到 GHz 的频率范围。这种天线可以被称为复合天线或类似的称法。

由于双锥单元通常远离对数周期天线的尖端,所以双锥偶极子单元和 EUT 之间的距离可能比复合天线的尖端跟 EUT 之间的距离大得多。此类天线可能需要更高的功率产生 RF 场。

为了获得更高的增益,还可将两副对数周期天线组合在一起。这种天线可命名为“堆叠”天线或类似的称法。

B.4 喇叭天线和双脊波导天线

喇叭天线和双脊波导天线产生线性极化电磁场,通常用在 1 000 MHz 以上频率。

注:高增益天线通常具有较小的波束宽度。

附录 C
(资料性)
电波暗室的应用

C.1 电波暗室综述

半电波暗室是在墙壁和天花板上装有吸波材料的屏蔽室。全电波暗室在地板上也安装吸波材料。安装吸波材料的目的是,为了吸收 RF 能量,阻止电磁波在室内的反射。这种反射,以复杂的方式干扰直接辐射场,会使生成的场形成波峰和波谷。

吸波材料的反射损耗,一般依赖于入射波的频率和入射波与法线的夹角,损耗(吸收作用)一般在垂直入射时为最大,随着入射角度增大,损耗降低。

为了阻止反射和增加吸收能力,吸收材料一般做成楔型或圆锥型。

对于半电波暗室,通过在地板上增加额外的 RF 吸波材料,有助于在全频段内得到需要的均匀场,对于带有铁氧体吸波材料的暗室,见 C.2,实验会揭示这些增加的吸波材料的最佳材料组成及摆放位置。

增加的吸波材料不宜放在天线到 EUT 之间的直射路径上,但试验时宜放在与电平设置时的同一方向和位置上。另外,通过倾斜和升高场发射天线以防止放置直接照射在铺设在地板上吸波材料。对于落地式设备的布置尤其重要,有关大型和重型 EUT 的布置指南,另见本文件 7.3 和附录 H 的要求。

也可通过将发射天线放在偏离电波暗室轴线上的方法来改进场的均匀性,因为这样可使任何反射都不对称。

C.2 铁氧体暗室用于 1 GHz 以上时的调整建议

C.2.1 铁氧体暗室用于 1 GHz 以上辐射抗扰度试验时引起的问题

铁氧体暗室用于 1 GHz 以上时。下面描述的问题可能发生,例如,在一个小型铁氧体暗室中。

在频率高于 1 GHz 时,铁氧体磁片可能呈反射而不是吸收功能。由于暗室内表面的多重反射(见图 C.1),很难在这样的频率下建立一个 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 区域的均匀场。

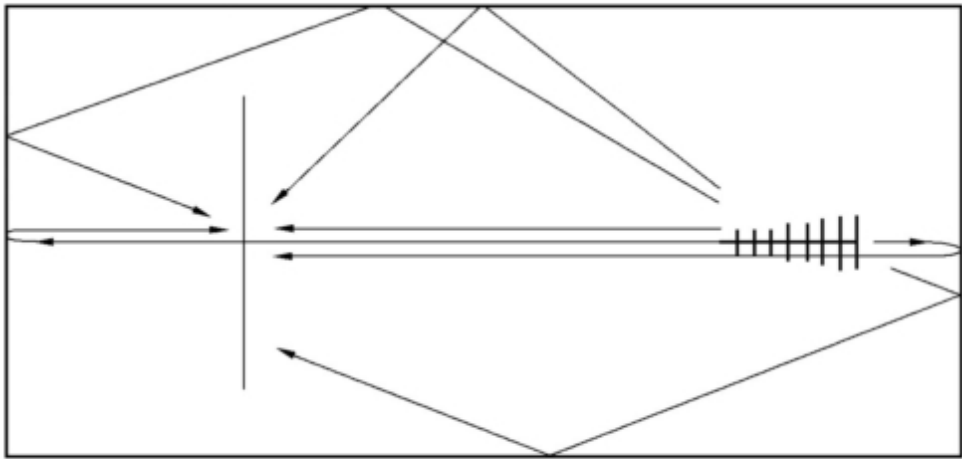


图 C.1 小暗室里的多重反射

在无线电话频带的频率范围内,波长短于 0.2 m。这意味着试验结果可对发射天线,场强探头或试验设备的位置很敏感。

C.2.2 减少反射的解决方案

可通过以下方式减少反射的影响：

- 使用喇叭天线和双脊波导天线来减少场的反向辐射。由于天线的波束较窄，同时也减少了暗室墙壁的反射。
- 缩短发射天线与 EUT 之间的距离，使墙壁的反射最小（天线与 EUT 之间的距离可减到 1 m）。
- 在 EUT 后面（从场发生天线看）的墙上贴附碳基吸波材料以消除直接反射，可减少 EUT 与天线之间对于相对位置的敏感程度，在频率低于 1 GHz 时也可能改善场的均匀性。

注：能将碳基吸波材料与现有铁氧体吸波材料配合使用，以满足在低于 1 GHz 的频率下的场均匀性的要求。

遵循上述程序将消除大部分反射波（见图 C.2）。

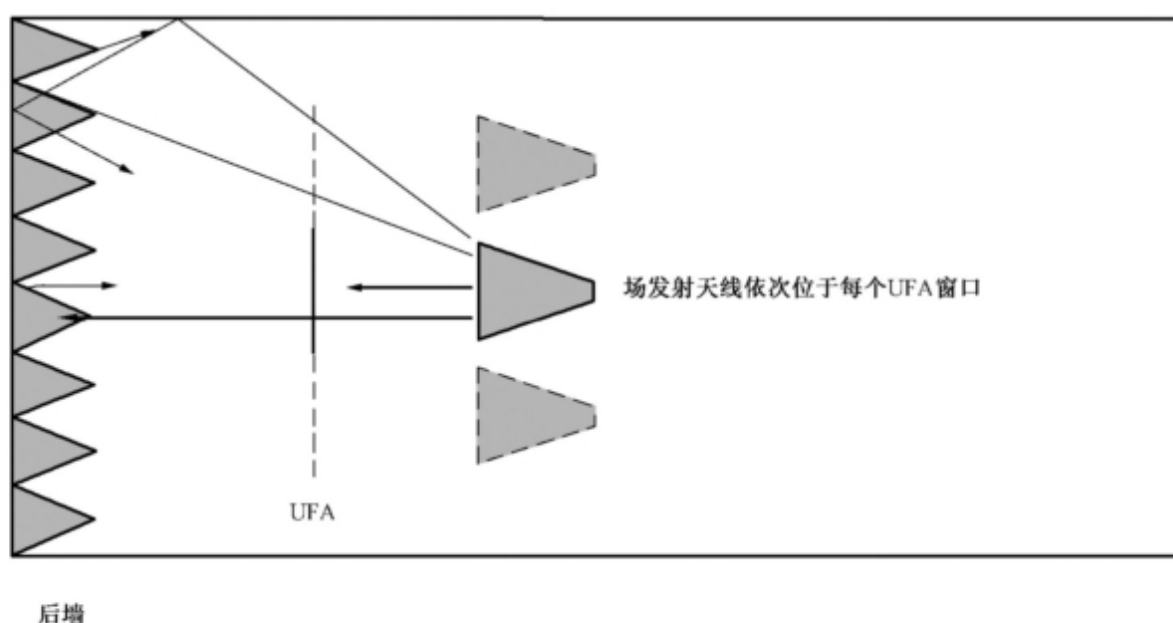


图 C.2 大部分反射波被消除（适用于顶视图和侧视图）

附录 D

(资料性)

放大器的压缩与非线性

D.1 限制放大器失真的目的

放大器的非线性会严重影响施加到 EUT 的骚扰信号。目标是使得放大器的非线性足够低,从而最小化对骚扰信号的影响。附录 D 帮助实验室理解和限制放大器的失真。

D.2 谐波及饱和可能引起的问题

放大器运行在饱和状态可能会导致以下情况:

- a) 谐波可能会显著地影响 UFA 测量期间获得的测量值。由于宽带场探头将测量基波及其谐波,因此无法正确测量预期频率下的场强。
- b) 谐波可能会导致 EUT 发生故障,其中 EUT 在预期的基波频率下稳定,而在谐波频率下不稳定。这个缺陷会导致错误的记录,并可能导致错误的重新设计。
- c) 即使它在特殊情况下能很好地抑制谐波,谐波依然会影响试验结果。例如,在试验一台 900 MHz 的接收机时,即使很微弱的 300 MHz 谐波信号也可能使接收机输入端过载。如果信号发生器输出非谐波相关信号,也会发生类似情况。可使用特殊的低通或陷波滤波器来保护敏感的 EUT。
- d) 在未检测出谐波的情况下也可能存在饱和。如果放大器具有一个抑制谐波和/或内部电路的低通输出滤波器,并且组合技术可以抑制频带边缘的谐波,则会发生这种情况。这种情况也可能导致错误的结果。
 - 1) 如果在 UFA 场地验证期间发生这种情况,则将推导出错误的电平设置数据,因为在 6.3.2 或 6.3.3 中描述的算法中使用了线性假设。
 - 2) 在试验过程中,这种类型的饱和会导致错误的调制因子和调制频率(通常为 1 kHz)的谐波。

D.3 限制场的谐波含量

在放大器的输出端使用可调节/可跟踪/可调谐的低通滤波器,可限制电场的谐波含量。

对于在放大器输出端产生谐波的所有频率,将场的谐波含量抑制在低于基波分量 6 dB 以上是可接受的[注意 D.2 列项 c) 中的例外现象]。

根据基波信号和谐波信号之间的相位关系,场强误差可能是基波场强的 10% 或更高。例如,一个宽带范围测得的 10 V/m 信号是由 9 V/m 的基波和 4.5 V/m 的谐波共同产生的。

但是,实际的试验系统由标准信号发生器、功率放大器、天线和连接这些设备的同轴线缆组成。宜注意,根据所使用的天线系数值,在某些情况下功率放大器的 6 dB 谐波要求可能是不够的。

对于输出端具有频率固定的低通滤波器的放大器,其基频上限大约为放大器规定的最大频率的 1/3。

当采用低通滤波器抑制饱和状态下放大器的谐波时,建议在任何情况下(如最苛刻的频率点,调制的最大场强点)不得超过放大器的 2 dB 压缩点。在 2 dB 压缩点,峰值振幅会下降 20%。

D.4 线性特性对抗扰度试验的影响

D.4.1 概述

影响抗扰度试验结果的问题是放大器的线性特性,放大器的谐波和饱和度。

宜验证放大器的线性度,从而确保所使用的放大器在 UFA 场强值或较低的计算电平下产生正确的场强。

D.4.2 线性特性的评估方法

D.4.2.1 评估等级范围

放大器的线性特性宜在放大器用于试验的幅度范围内进行评估。这个范围包含因调制降低到的最低电平,和因调制升高到的最高电平。

最大电平指测量到的 CW 信号最大电平再增加 5.1 dB,以满足调制。

基于其中一个 UFA 点的电平设置结果计算不同的试验场强等级时,线性度的评估范围为用于试验的最小到最大放大器输出。例如,如果使用从 10 V/m UFA 电平设置获得的数据执行 3 V/m 试验,则线性评估范围定义为达到 1.67 V/m~18 V/m 场强所需的功率放大器输出。

D.4.2.2 评估过程

使用实际用于 EUT 试验的试验布置和仪器,例如天线、电波暗室和试验系统来评估放大器线性度非常重要。试验布置如图 D.1 所示。

至少宜在放大器频率范围内的低、中、高频率下评估放大器的线性度。但是,根据放大器的频率响应和压缩特性,可能需要对压缩特性进行更详细的分析。作为最低要求,频率范围为 80 MHz~1 GHz 的放大器宜在 80 MHz、500 MHz 和 1 GHz 下进行评估。如果放大器的频率范围分为几个频带,则宜对每个频带进行评估。



图 D.1 放大器线性度试验布置

对于上面定义每个频率,按照以下程序进行线性试验。

- 1) 确定信号发生器的设置,在适当的试验布置下能够产生最小和最大电平(见 D.4.2.1)。
- 2) 将信号发生器设置为在步骤 a) 中确定的最小值,并记录信号发生器的输出和放大器的正向功率。
- 3) 将信号发生器的设置增加 1 dB,并记录信号发生器的输出和放大器的正向功率。
- 4) 重复步骤 2) 到步骤 3),直到达到在步骤 1) 中确定的信号发生器的最大设置值。

D.4.2.3 线性度判据

对于 D.4.2.2 中获得的结果,测量放大器输出电平范围内的增益误差不得超过 ± 1 dB。见图 D.2 和图 D.3 中的示例。

如果按照 D.4.2.2 中定义的过程获得的测量数据符合 ± 1 dB 规范,则试验实验室使用的放大器满足线性判据。

如果数据不符合线性判据,则采用 D.4.2.4。

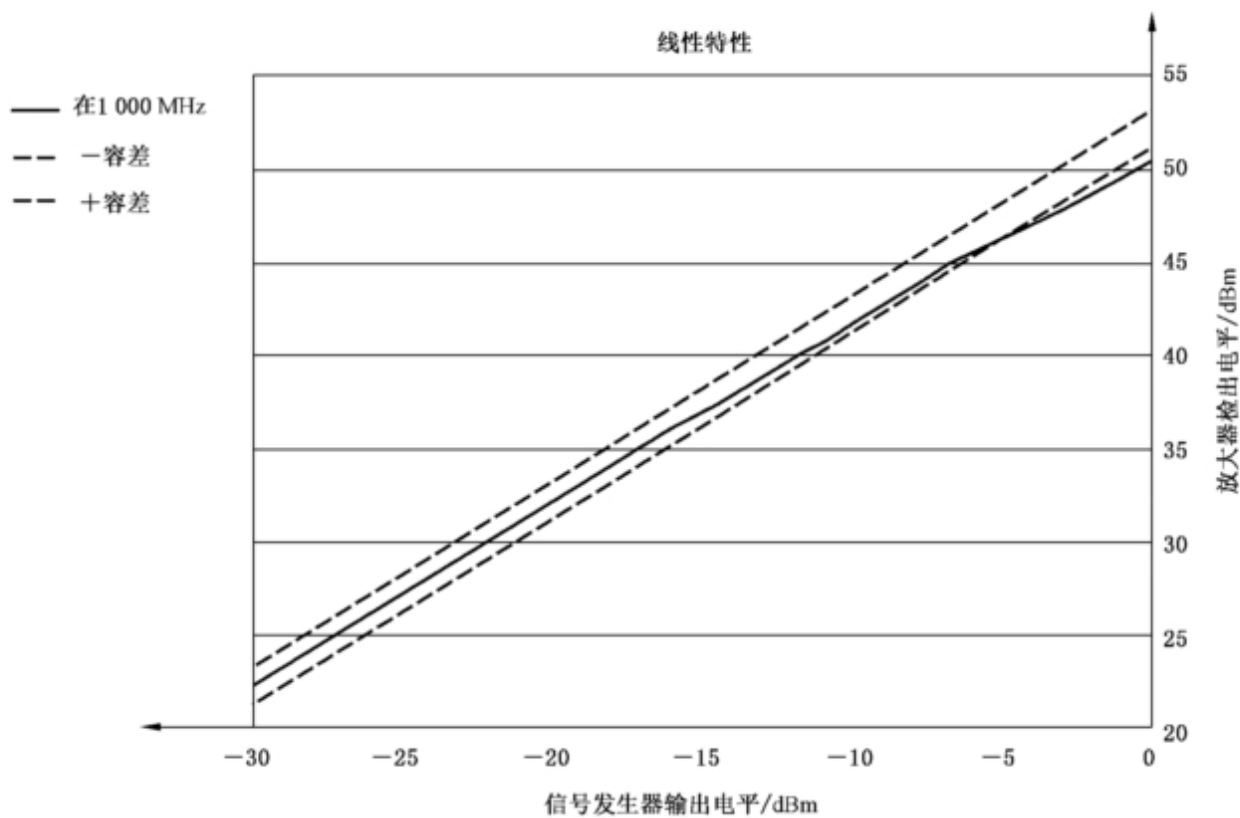


图 D.2 线性曲线示例

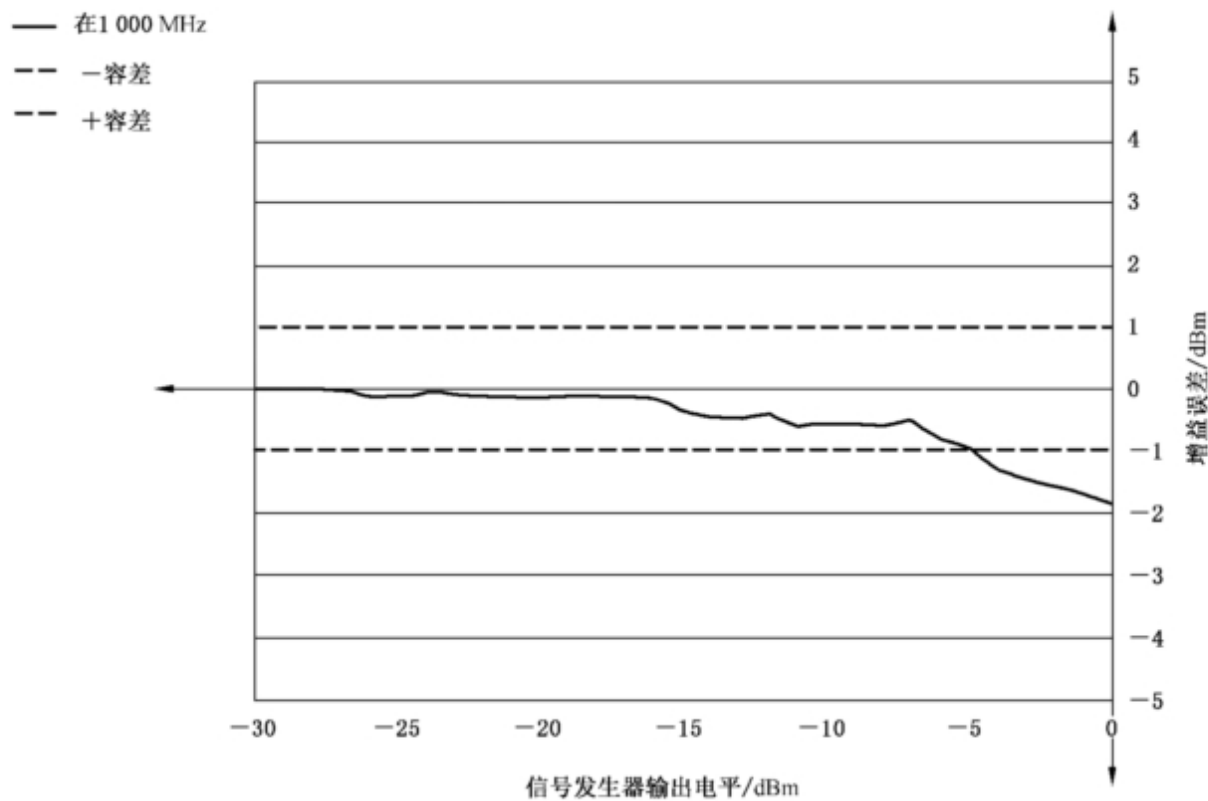


图 D.3 增益偏差示例

注：基于放大器在一个信号频率的输出，图 D.2 和图 D.3 展示的示例定义了 ± 1 dB 的容差。本例中的信号发生器输出在 -30 dBm 的最小电平值和 0 dBm 的最大电平值之间变化。本例中的放大器超出容差。

D.4.2.4 放大器线性度特性不符合判据时的抗扰度试验

如果在 D.4.2.3 中执行的评估不满足线性度判据 ± 1 dB，则有必要根据以下方法在实际 EUT 试验期间调整正向功率。

一种方法是使用带反馈的系统,其中功率计用于监控功率放大器的输出功率。

注:请谨慎选择能够测量调制信号的设备。

另一种方法适用于没有反馈的系统,其中正向功率电平设置需要在每个期望试验电平下进行。

附录 E

(资料性)

产品标准化专业委员会试验等级选择指南

E.1 概述

无线电发射机的发射功率通常用相对于半波偶极子的 ERP 来定义。因而对远场来说,可由以下公式得到产生的场强:

$$E = k \cdot \frac{\sqrt{P}}{d} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

E ——场强值(RMS),单位为伏每米(V/m);

k ——常数,在远场自由空间传播时其值等于 7(半波偶极子);

P ——功率值(ERP),单位为瓦(W);

d ——到天线的距离,单位为米(m)。

附近的反射和吸收物体会改变场强。

注: IEC TR 61000-2-5 包含有关已知分配给特定无线电业务的频率和功率等级的更多详细信息。

E.2 一般用途的试验等级

试验等级和频段是根据 EUT 最终安装所处的电磁辐射环境来选择的,在选择所采用的试验等级时宜考虑到所能承受的失效后果,若失效后果严重,宜选用较高的等级。

如果 EUT 只安装在若干个场地,那么察看当地的 RF 源就可以计算出可能遇到的场强。如果不知道射频源的功率,则可能要在有关的现场测量实际的场强。

若打算在不同的场所运行设备,下面提供选择试验等级的指南。

以下等级与第 5 章中所列的等级有关,可作为选择相应等级的通用导则。

——等级 1:低电平电磁辐射环境。位于 1 km 以外的地方广播电台/电视台和低功率的发射机/接收机所发射的电平为典型的低电平。

——等级 2:中等的电磁辐射环境。使用低功率的便携收发机(通常功率小于 1 W),但限定在设备附近使用。

——等级 3:严重电磁辐射环境。便携收发机(额定功率 2 W 或更大),可接近设备使用,但距离不小于 1 m。设备附近有大功率广播发射器和工科医设备。

——等级 4:便携式收发器在距离设备 0.2 m 和 1 m 的地方使用。其他重大干扰源可能位于距离设备 1 m 以内。

——等级 X:X 为开放等级,可通过协商或在产品标准或设备说明书中规定。

如果使用的发射器离 EUT 的距离小于 0.2 m,则宜考虑根据 IEC 61000-4-39(参见附录 F)进行的试验。

注: IEC TR 61000-2-5 提供了关于不同电磁环境的试验等级的更多详细信息,同时还要考虑各种通信服务和频率范围。

E.3 无线电话射频辐射防护相关的试验等级

宜按预期的电磁场选择试验等级,要考虑无线电设备的功率以及发射天线和 EUT 之间的大致距离。通常,对移动设备的要求要比对基站的要求更严酷(由于移动设备常常比基站更靠近潜在的敏感设

备)。

在选择所采用的试验等级时宜考虑到失效所造成的后果以及抗扰度试验所需的费用。失效后果严重,才选择较高的等级。

实际可能的情况是发生暴露的程度比试验等级高但发生概率小,为防止这种情况下不可接受的失效,可能需要进行另一次更高等级的试验,采纳降低了的性能指标(即认可的性能降低)。

表 E.1 给出了试验等级、性能指标及相关保护距离的示例。保护距离为当按所述的试验等级进行试验时,到数字无线电话可接受的最小距离。该距离按公式(E.1)进行计算,其中 $k=7$,并且假设用 80%正弦波 AM 试验。

表 E.1 试验等级、相应保护距离及建议的性能判据的示例

试验等级	载波场强 V/m	最大 RMS 场强 V/m	保护距离						性能判据 ^a	
			2 W GSM m	8 W GSM m	1/4 W DECT m	LTE/ UMTS (通用移动通信系统) 0.25 W m	WiMAX (微波接入的全球操作网络) 1.26W m	WI-FI (无限局域网) 1 W m	例 1 ^b	例 2 ^c
1	1	1.8	5.5	11	1.9	1.7	4.4	3.9	—	—
2	3	5.4	1.8	3.7	0.6	0.6	1.5	1.3	A	—
3	10	18	0.6	1.1	~0.2 ^d	~0.2 ^d	0.4	0.4	B	A
4	30	54	~0.2 ^d	0.4	~0.1 ^d	~0.1 ^d	~0.1 ^d	~0.1 ^d	—	B
^a 相关产品委员会定义的性能指标。 ^b 设备失效后果不严重。 ^c 设备失效后果严重。 ^d 在此距离或更近距离时远场公式 E.1 不准确。如果使用的发射器离 EUT 的距离小于 0.2 m,则宜考虑根据 IEC 61000-4-39(参见附录 F)进行的试验。 A 性能等级,按第 9 章要求。 B 性能等级,按第 9 章要求。										

上表中考虑了以下事项。

——对 GSM/LTE 手持设备,目前市场上大部分终端设备为 4 级(最大 ERP 为 2 W),而实际使用中有相当多的移动终端是 3 级和 2 级(最大 ERP 分别为 5 W 和 8 W)。除了在接收差的地区外,GSM 设备的 ERP 值常常低于最大值。

——在室内由于存在多种障碍物(墙壁、天花板等)造成的衰减,与室外传播条件相比,发射设备通常会调整其 ERP(可能增加到最大发射功率),以优化通信链路。从 EMC 的观点考虑这是最坏的情况,因为大部分受影响的设备也在室内。

——如附录 A 所述,抗干扰等级与调制场的 RMS 最大值密切相关,因此,在计算保护距离时,公式(E.1)中使用了 RMS 最大场强,而未使用载波场强。

——安全运行的预计最小距离也称保护距离,是按式(E.1)用 $k=7$ 计算取得的,且未考虑由于墙壁、地面以及顶部反射的场强变化。其数量级为±6 dB。

——按公式(E.1)计算的保护距离与数字无线电话的 ERP 有关,与工作频率无关。

E.4 对固定发射设备的特殊措施

附录中推导出的电平是一些典型值,在所述的场所中很少会被超过。但在某些场所这些值将会被超出,如:雷达设备,在同一建筑物里的大功率发射机或工科医射频设备附近。在这些情况下,宁可把房间或建筑物屏蔽,对设备的信号和电源线进行滤波,而不是规定所有设备具有该等级的抗干扰能力。

附录 F
(资料性)
试验方法的选择

本文件的目的是根据 EUT 的设计和类型,为产品委员会和产品规范编写者提供指南,以选择最合适的试验方法以确保可重复性。

考虑的问题有:

- 相对于 EUT 的物理尺寸的辐射场的波长;
- EUT 的连线和壳体的相对尺寸;
- 构成 EUT 的连线和附件的数量;
- 骚扰源到 EUT 的距离;
- 骚扰源的种类,例如发射器或不均匀的磁场;
- 骚扰源的频率。

总体上,《电磁兼容 试验和测量技术》系列基础标准中的至少 6 个标准可用于试验 EUT 对射频骚扰的抗扰能力。

这些标准因其模拟的骚扰现象或试验方法而异。

本文件和 IEC 61000-4-6 构成了一组标准,旨在涵盖 150 kHz 以上的整个频率范围。IEC 61000-4-6 规定使用合适的耦合设备将射频试验信号注入 EUT 的线缆中。原则上,过渡频率为 80 MHz,在该频率下,传导射频骚扰的试验将结束,而天线辐射场的试验将开始。

本文件已针对 80 MHz 以上的频率进行了优化。使用距离 EUT 至少 1 m 的辐射天线进行试验。

在一定频率范围内,任一标准中出现的试验方法均适用。可使用 IEC 61000-4-6 中定义的试验方法,最高试验频率为 230 MHz。可使用本文件中定义的最低 26 MHz 的试验方法。对于较低的频率,可能不得不增加暴露的线缆长度、试验距离和 UFA 尺寸。

本文件涵盖的试验,用于模拟非紧邻骚扰源产生骚扰的射频骚扰源。试验距离通常为 3 m,且不得低于 1 m。与之相反的是 IEC 61000-4-39,它经过优化可模拟骚扰源(磁场或电磁场),其辐射骚扰是由紧邻设备的射频场引起的。在这种情况下,频率范围为 9 kHz~6 GHz,测试距离不大于 10 cm。

另外三个标准可指导使用各种试验设施和方法进行射频骚扰的抗扰度试验。

IEC 61000-4-22 提供了一种在全电波(FAR)暗室内进行辐射抗扰度试验的方法。该标准可被认为是相似的,尽管不等同于本文件。

IEC 61000-4-20 通常用于没有线缆或线缆很少的小型 EUT。试验设施是为此目的而优化的 TEM 结构。该方法适用范围从 DC 到几个 GHz。

IEC 61000-4-21 适用于要在非常高的场强下进行试验的复杂大型 EUT。试验是在混响试验室中进行的,该室利用来自室的反射作为试验方法的一部分。试验使用的统计方法与本文中采用的确定性方法完全不同。该方法的可用频率范围受试验设施的大小和属性限制。

附录 G

(资料性)

线缆布置细节

G.1 辐射抗扰度试验中 EUT 布置

在最终安装中,EUT 及其附属线缆会暴露在 EUT 附近电磁场源的影响下,该电磁场会诱导信号进入连接的线缆和 EUT 本身。试验的目的是模拟干扰信号通过线缆和直接进入 EUT 电子电路的感应/耦合。

为了确保线缆能够接收到电磁场暴露信号,线缆的位置不能过于靠近其他线缆,也不能靠近金属部件。

电磁场对每个 EUT 的任何一个面的耦合可以是不同的。因此,若 EUT 单元暴露在多个方向的电磁场中,那么 EUT 单元的每个面都要依次进行试验,所以可能需要对 EUT 机柜/封装的 6 个面都进行试验。如果线缆已使用至少一种详细规定的布置进行了试验,那么当 EUT 机柜转换为其他方向时,并不需要再对线缆的布置进行同等详细的规定。在线缆定位良好以采集电磁场时,原则上不需要重新布线,因为通过线缆的信号感应已经建立。

G.2 场中的线缆

本文件中规定,如果可能,每条线缆暴露于电磁场的长度至少为 1 m。1 m 大约等于较低试验频率 80 MHz 波长的 $\frac{1}{4}$ ($\frac{1}{4}$ 波长 = 93.75 cm)。电磁场的感应信号非常容易通过具有 $\frac{1}{4}$ 波长或更长长度的线缆采集到。频率越高,波长越小,信号越容易被接收到。在大约 300 MHz 时线缆可能不再是感应信号进入 EUT 的主导路径,电磁场直接穿透 EUT 也扮演了重要的角色。

G.3 线缆离开测试区域的线缆

在 7.4 中,建议在 3 根离开区域的线缆使用共模吸收装置(CMAD),但这不是强制性的,然而仍鼓励实验室在每根线缆与地面接触的地方都安装一个 CMAD。CMAD 的阻抗和吸收特性由 CISPR 16-1-4 规定。

一般情况下 CMAD 能消除谐振。产品委员会可能会根据这一点,以评估采用的试验等级是否适合特定情况。

G.4 EUT 机柜的转动

通过转动 EUT 来确保将电磁场能够直接感应到 EUT 的机柜中。这是必要的,因为电路板和子组件中敏感的电子电路可能直接暴露在辐射中。如果转动所有机柜不需要对布线做出重大改动,那么每个机柜都可在不改变布线的情况下转动。如果线缆布置满足上述至少一种线缆布线规则,则在每次转动 EUT 时不需要重新安排线缆。试验实验室自行安排试验布置,例如,旋转对称(方式),这样就可将 EUT 放置在一个自动转台上;或者,只要遵循试验布置的总体规则,可布置成每个分段扫描时可手动转动 EUT 机柜。

附录 H
(资料性)
大型及重型 EUT 的试验布置示例

H.1 带有底部馈线的 EUT

图 H.1 为底部带有信号和电源馈电线缆 EUT 的试验布置示例图。EUT 宜放置在厚度为 0.05 m 或以上的绝缘托盘或其他绝缘支架上,也可使用大型和重型 EUT 上常见的非导电滚轮替代。大型 EUT 线缆通常非常粗且坚硬,难以弯曲,由于这类线缆不是为地面布线而设计的,因此实际布线时会遇到很大的困难。在实际安装中,这些线缆被屏蔽在 EUT 外壳下,直接进入地下。由于其实际安装的性质,这些地下线缆不需要暴露在电磁场中。

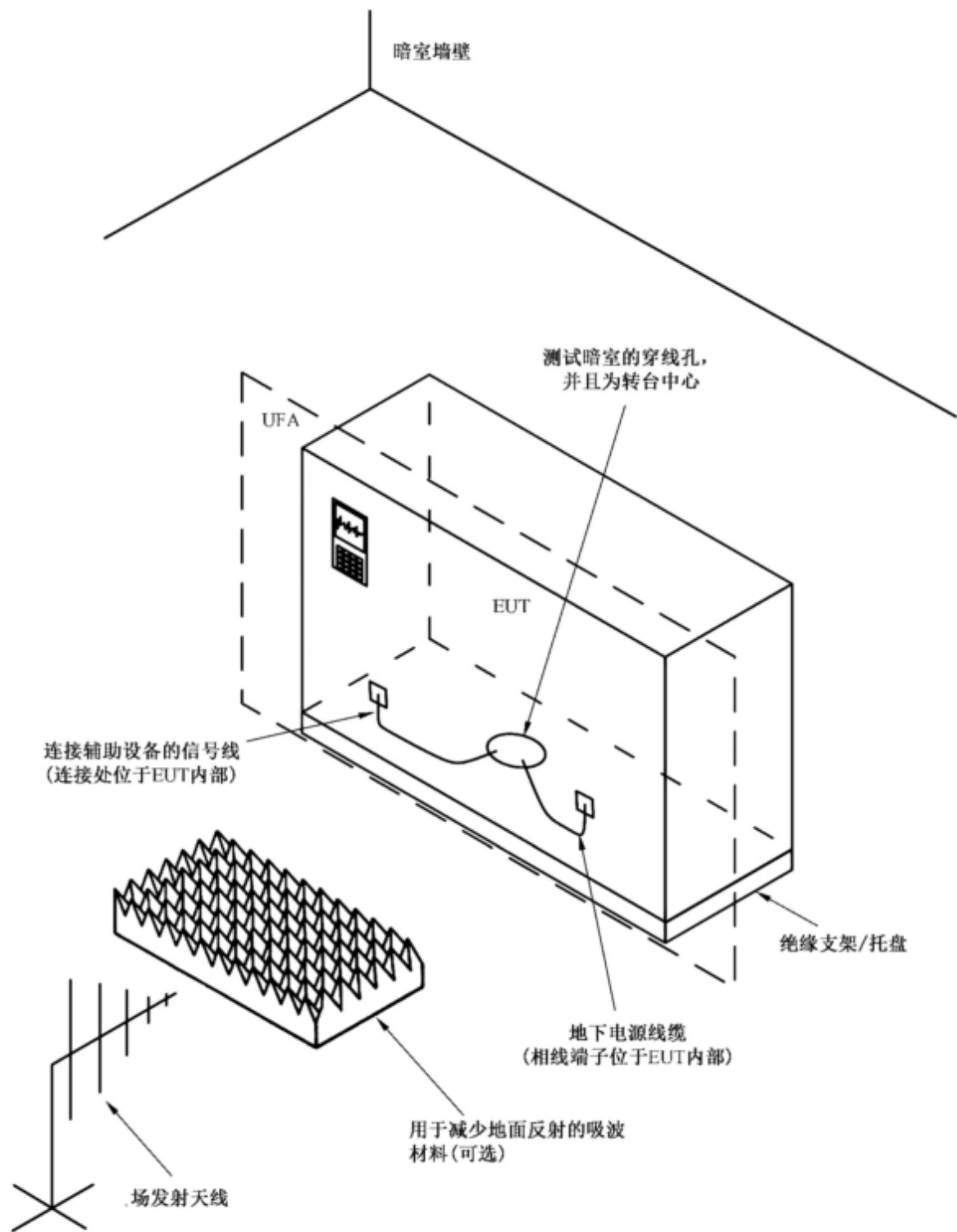
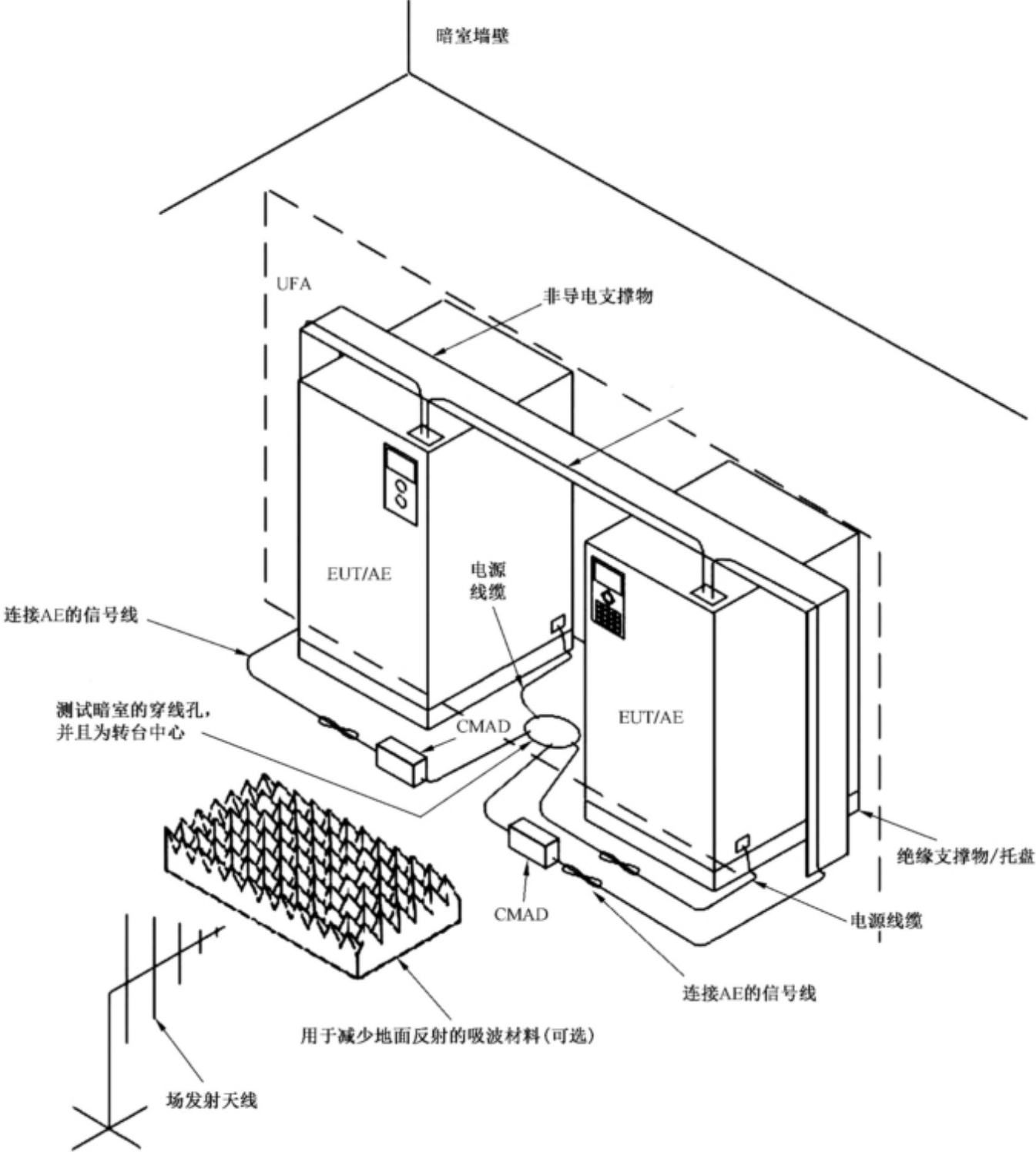


图 H.1 带有底部线缆的 EUT 试验布置示例图(未标出 CMAD)

H.2 带有架空线缆的 EUT

图 H.2 为带有架空信号和电源线缆 EUT 的试验布置示例图。这类产品例如网络服务器,由于实际安装方法,其信号线缆需要架空布线。如果导电或屏蔽的线缆槽被指定为 EUT 安装的一部分,那么也宜将其用于试验设置。如果可能的话,连接 EUT 装置的多余长度的线缆宜在线的中部捆扎成低感性线束。

如果 EUT 太大,无法完全装入 UFA 窗口,那么每次沿 EUT 进行试验后,宜移动单个 UFA 窗口,使 EUT(包括架空线缆)能够完整的被 UFA 覆盖。



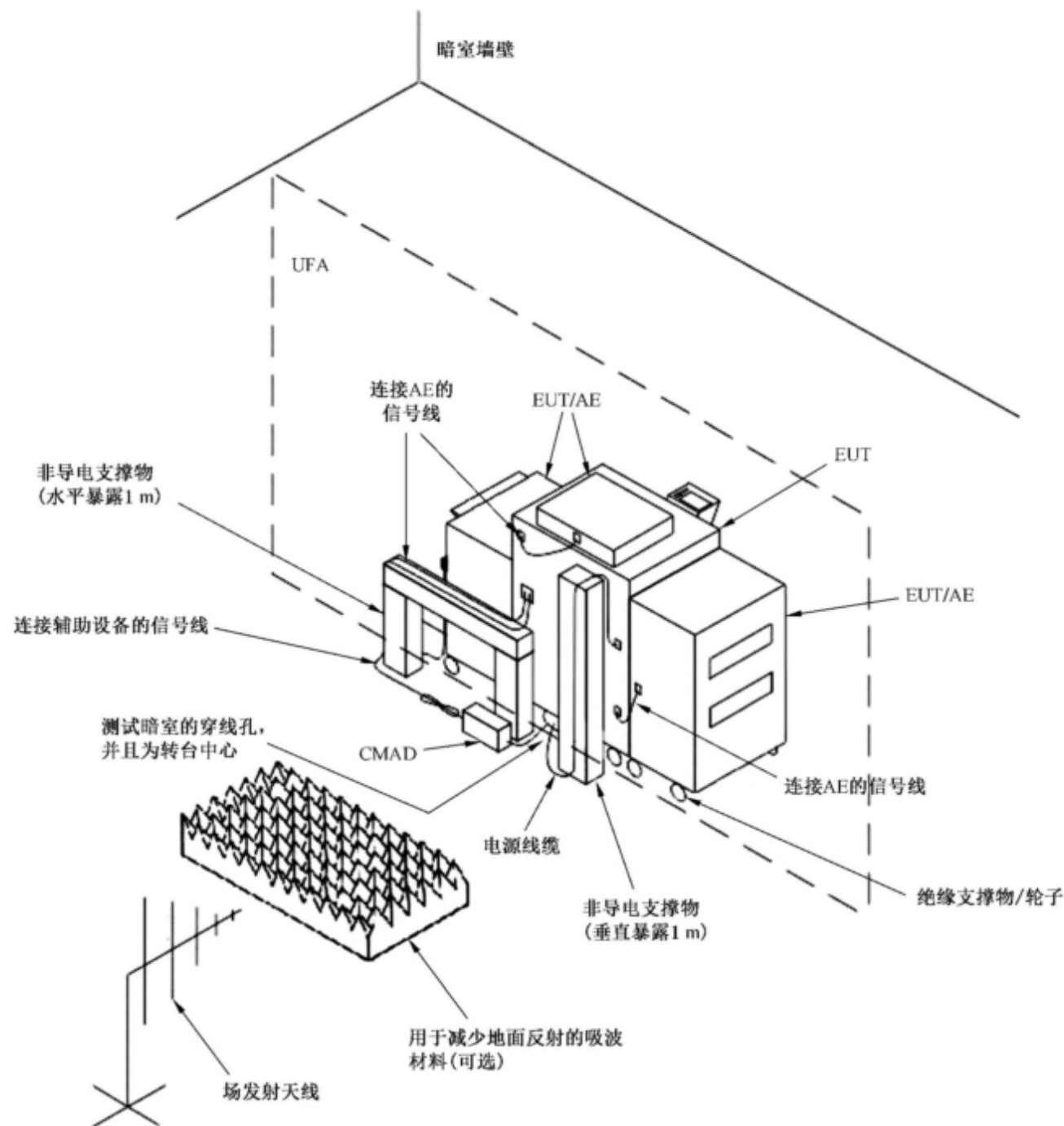
注 1: UFA 与带线缆的 EUT 的尺寸匹配。

注 2: 电源线缆过粗,无法使用 CMAD。

图 H.2 带有架空线缆的 EUT 试验布置示例图

H.3 带有多根线缆和 AE 的 EUT

图 H.3 为带有多根信号和电源线缆及 AE EUT 的试验布置示例图,这类产品,例如落地式的多功能打印机,通常包含多个 AE 之间的几种不同长度和类型的线缆。只有足够长的线缆才能以不低于 1 m 的长度暴露在水平或垂直极化的电磁场中,但如果 EUT 和 AE 之间的线缆较短且长度固定,则可能无法按照本文件要求将线缆暴露在场中。这种情况下,宜按照用户手册进行摆放。如果没有特别规定,长线缆宜如图 3 所示排列,使用非导电支撑,以实现垂直和/或水平暴露。如果可能的话,连接 EUT 装置的多余长度的线缆宜在线的中心捆扎成低感性线束。



注: 电源线缆过粗,无法使用 CMAD。

图 H.3 带有多根线缆及 AE EUT 的试验布置示例图

H.4 带有侧馈线缆并需要多个 UFA 窗口的大型设备

图 H.4 为带有侧馈线缆的大型 EUT 的试验布置示例图,需要用多个 UFA 窗口进行覆盖。每次沿 EUT 进行试验后,宜移动单个 UFA 窗口,使 EUT(包括外部馈电线缆)能够完整的被 UFA 覆盖。天线和吸波材料(可选)宜如图 H.4 所示移动,直到整个 EUT 被 UFA 窗口覆盖。如果可能的话,连接

EUT 装置的多余长度的线缆宜在线的中心捆扎成低感性线束。

注：对多个 UFA 窗口的情况，见 6.3.1 中给出的测试方法。

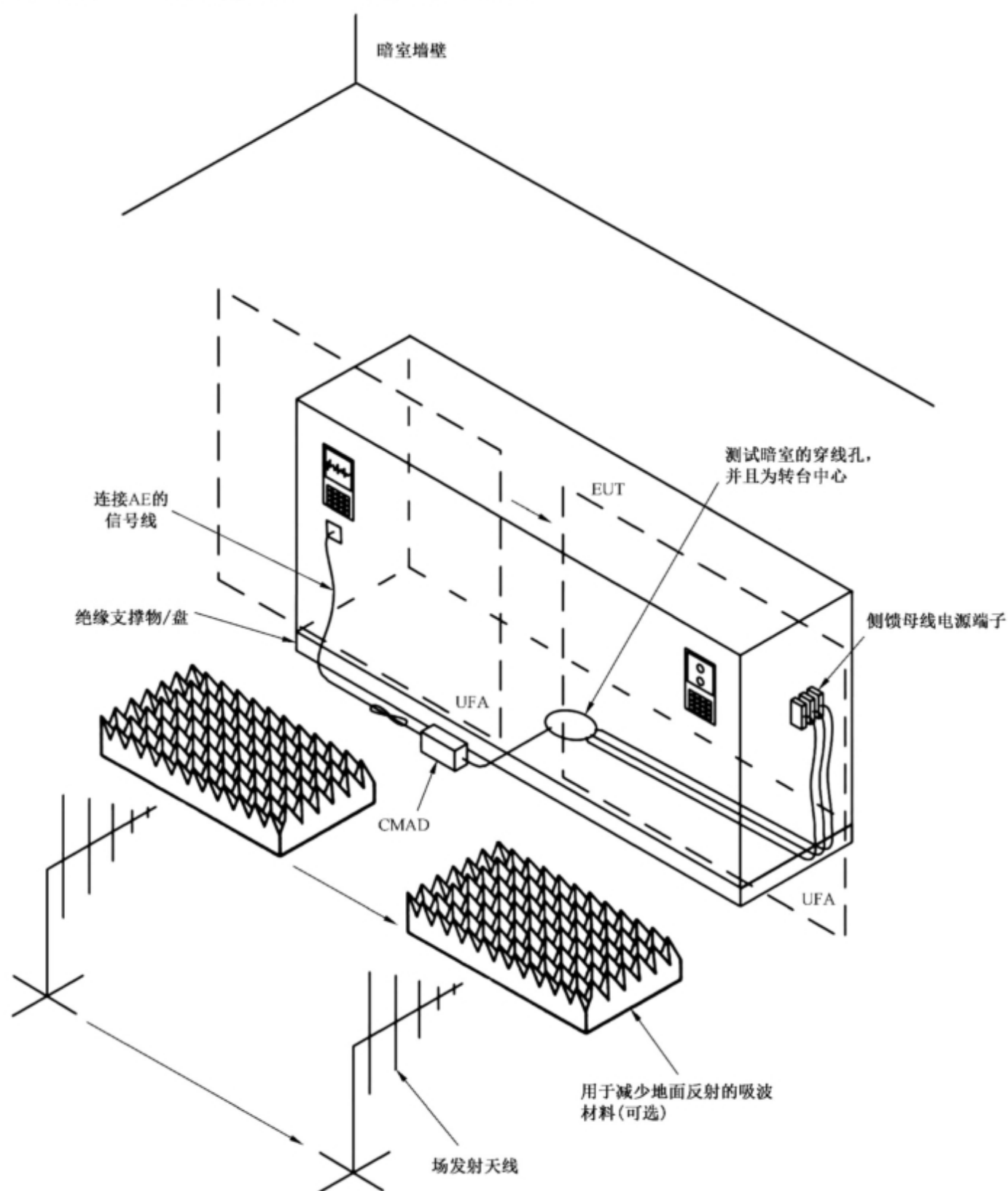


图 H.4 带有侧馈线缆并需要多个 UFA 窗口的大型设备试验布置示例图

附录 I

(资料性)

多信号试验

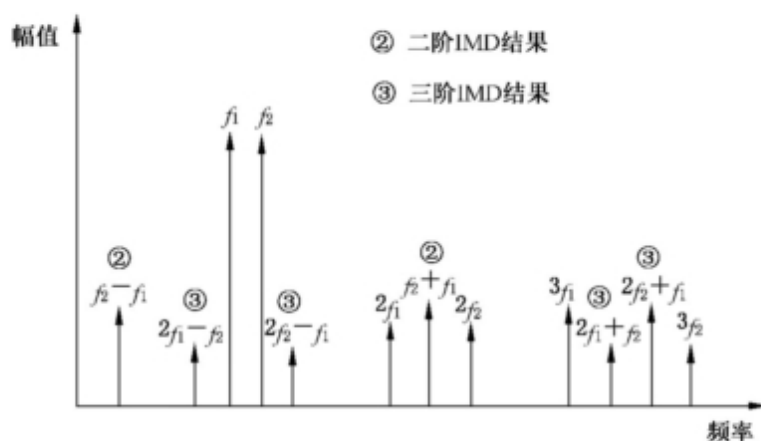
I.1 概述

附录 I 提供了在一个驻留周期内用多个信号对 EUT 进行试验的相关信息,以便减少总体的试验时间。该附录包含了以下内容:多个信号产生的互调效应、产生多个信号所需的功率、试验电平设置要求、线性度和谐波检查以及多信号试验时 EUT 的性能判据。

I.2 互调

在具有非线性的系统中可能会产生互调。各频率分量之间的互调将产生额外的频率信号,这些信号不仅在原始信号的谐波(整数倍)频率上生成,还在原始信号频率之间的和与差频率上生成,在原始信号频率整数倍之间的和与差频率上生成。

这种互调的结果是以边带(大概以基频和谐波为中心)的形式产生的无用信号,需注意确保这些无用信号不会显著影响敏感性试验的质量。为此,这些无用信号可被视为谐波,并且宜至少低于试验场地预期的试验信号 6 dB,如图 I.1 及算式所示。

图 I.1 试验频率 f_1 和 f_2 及其二阶和三阶互调频率

$$v_{\text{out}} = a_1 v_i + a_2 v_i^2 + a_3 v_i^3 + \dots \quad \text{..... (I.1)}$$

式中, a_1 、 a_2 和 a_3 是一阶、二阶和三阶谐波的传递函数,而:

$$v_i(t) = \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t) \quad \text{..... (I.2)}$$

公式(I.3)和公式(I.4)用于计算高阶电压:

$$v_i(t)^2 = \frac{1}{2}[1 + \cos(4\pi f_1 t)] + [\cos(2\pi(f_1 - f_2)t)] + \cos[2\pi(f_1 + f_2)t] + \frac{1}{2}[1 + \cos(4\pi f_2 t)] \quad \text{..... (I.3)}$$

$$v_i(t)^3 = \left(\frac{3}{4} + \frac{3}{2}\right) \cos 2\pi f_1 t + \left(\frac{3}{4} + \frac{3}{2}\right) \cos 2\pi f_2 t + \frac{3}{4} [\cos(4\pi f_1 t - 2\pi f_2 t) + \cos(4\pi f_1 t + 2\pi f_2 t)] + \frac{3}{4} [\cos(4\pi f_2 t - 2\pi f_1 t) + \cos(4\pi f_2 t + 2\pi f_1 t)] + \frac{1}{4} \cos(6\pi f_1 t) + \frac{1}{4} \cos(6\pi f_2 t) \quad \text{..... (I.4)}$$

I.3 功率要求

产生多个信号所需的功率可用峰值和平均值来定义。

如果每个信号具有相同的功率,则可使用以下公式:

$$P_{\text{MSAVG}} = P_{\text{SSAVG}} \cdot N \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$P_{\text{MSPK}} = P_{\text{SSPK}} \cdot N^2 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

式中:

P_{MSAVG} ——多个信号的平均功率;

P_{MSPK} ——多个信号的峰值功率;

P_{SSAVG} ——单个信号的平均功率;

P_{SSPK} ——单个信号的峰值功率;

N ——信号的数量。

为了消除所有失真,峰值功率可用于计算给定放大器可产生的信号数量。然而,由于各个信号的频率不同,其相对相位总是在变化,只有当所有信号同相时,才能达到峰值功率等级。这种情况相对少见,大多数情况下平均功率更容易估算。

当使用平均功率而不能达到峰值功率时,会产生失真(互调)。一般来说,这种失真可通过使用在线性工作范围内的放大器来最小化。所需的放大器功率由电平设置要求以及线性度和谐波要求决定。

1.4 试验电平设置要求

6.3.2 和 6.3.3 中的试验电平程序设置流程要求使用各向同性的场探头,这些探头不是频率选择性的,不能解析和测量多个信号。因此,试验电平设置流程宜选择使用单一频率进行。

为了使用多个信号,需要进行第二次电平设置过程,可使用不同类型的试验设备,例如多个信号源或矢量信号发生器以及频率选择性功率测量设备(信号分析仪、频谱分析仪、网络分析仪、接收机等)。除了试验设备的选择,更重要的是要考虑到互调和放大器饱和效应。试验电平设置流程按照 6.3.2 和 6.3.3 的要求(根据要求的频段确定 AM 调制的试验电平)来确定在不使放大器饱和引入太多失真的情况下,可将多少信号组合成一个试验集。6.3.2 步骤 5)和 6.3.3 步骤 7)以及附录 D 的线性和谐波电平设置宜在试验组内的所有现有信号上同时进行,每次增加新信号,直至一种或两种方法的检查都失败,这就是电平设置可同时使用的最大信号数量。

1.5 线性度和谐波检查

6.3.2 步骤 5)和 6.3.3 步骤 7)中定义的线性度检查流程宜作为一个整体用于每个信号测试集。测试集中每个单独信号的信号发生器的驱动电平同时降低 5.1 dB。如果所有试验信号逐渐降低但并未消失,宜测量并检查每个单独的输出信号,确保其降低值不小于 3.1 dB。

附录 D 中定义的谐波电平设置流程宜修改为包括所有非基波频率(谐波、互调产物、杂散等)。这些非基波信号可通过发送到天线的功率来测量,也可通过接收天线直接测量场强。功率测量宜针对天线增益进行修正,以便使其与场强相关。所有非基波信号宜至少低于试验场地预期试验信号 6 dB。

注:每个放大器输出端能使用高功率低通滤波器,以便将放大器和/或测量设备(定向耦合器、信号/频谱分析仪)的谐波和互调产物含量限制在工作频率范围上限之内。

1.6 多信号试验时 EUT 的性能判据

在驻留时间内用一个以上的信号进行试验会使 EUT 暴露在超出标准要求强度的辐射下。这种过度暴露可能导致 EUT 丧失功能或性能下降,而这非是由单一频率的照射造成的。由于本文件的要求是针对单个频率试验的,因此需在导致性能下降的频率集内对试品重新进行每个单频的试验,以单一频率试验的结果为准。

附录 J
(规范性)
由试验仪器引起的测量不确定度

J.1 概述

依据本文件正文中试验方法的特殊需求,本附录给出了与试验电平设置的 MU 相关的信息。更多的信息可在[1,2]¹⁾中找到。

本附录给出了一个在设定电平的基础上计算不确定度的示例。诸如调制频率和调制深度、由放大器产生的谐波这类骚扰量的参数,实验室也需要以一种合适的方法进行考虑进去。本附录给出的方法适用于骚扰量的所有参数。

对于试验场地的场均匀性所引起的不确定度正在考虑之中。

J.2 对于试验电平设置的不确定度预评估

J.2.1 被测量的定义

被测量是指依据本文件 6.3.2 a)和 6.3.3 a)的程序选定的 UFA 的点上理想的试验电场强度(没有 EUT 情况下)。

J.2.2 被测量的不确定度贡献

下面的影响量图(见图 J.1)给出试验电平设置影响量的举例。本图表同时适用于电平设置和试验过程,但并没有穷尽所有可能的影响因子。影响量图中最重要的贡献被不确定度预评估表 J.1 和 J.2 所选用。为了不同的试验场地和实验室得到可比较的预评估值,不确定度预评估的计算至少包括表 J.1 和表 J.2 中列出的不确定度贡献。要注意的是,实验室可基于其特殊情况,在计算 MU 时包含更多的不确定度贡献。

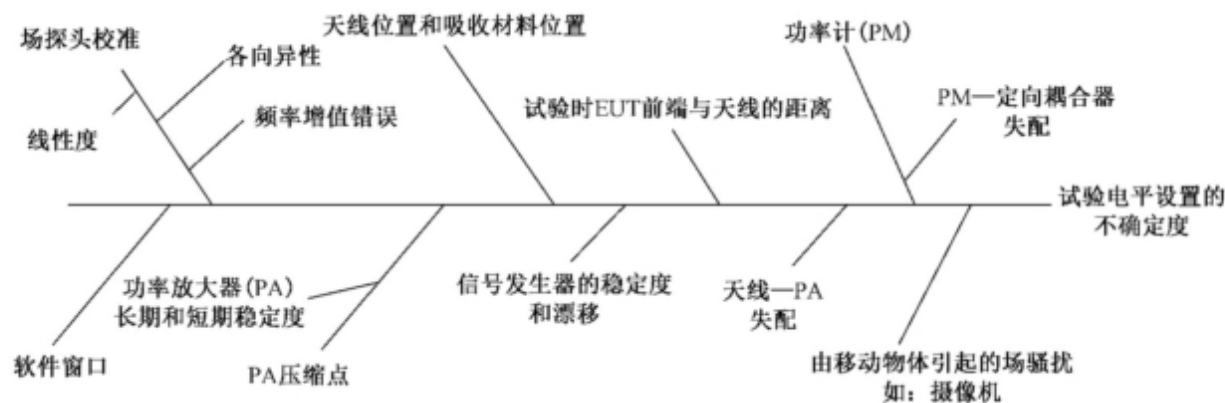


图 J.1 试验电平设置的影响量的举例

J.2.3 扩展不确定度的计算举例

应认识到,适用于电平设置和试验的不确定度贡献可能是不相同的。这导致了每一个过程有不同的不确定度预评估值。

在本基础标准中,在对 EUT 试验之前需要对暗室中的场进行电平设置。一些不确定度贡献可能在计算 MU 时不是影响因子,这取决于试验布置。示例包括放大器输出功率电平控制的补偿因子或那

1) 方括号中的数字指 J.4 中参考文献的编号。

些在电平设置和试验之间维持不变的因子(如:天线和放大器间的失配)。

场强探头和功率监视仪(可重复性而不是绝对的测量准确度和线性度)不包括在放大器输出功率的电平控制中,它们的贡献值应在计算 MU 的时候予以考虑。

表 J.1 和表 J.2 给出了一些试验电平设置的不确定度预评估的示例。不确定度预评估包括电平设置不确定度和试验不确定度两部分。

表 J.1 电平设置过程

符号	不确定度来源 X_i	$U(X_i)$	分布	因子	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	单位	$u_i(y)^2$
FP	场强探头电平设置	1.7	正态 $k=2$	2	0.85	1	0.85	dB	0.72
PM _c	功率计	0.3	矩形	1.73	0.17	1	0.17	dB	0.03
PA _c	PA 快速增益变化	0.2	矩形	1.73	0.12	1	0.12	dB	0.01
SW _c	SW 电平精度	0.6	矩形	1.73	0.35	1	0.35	dB	0.12
$\sum u_i(y)^2$								0.88	
$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$								0.94	
扩展不确定度 $U(y)$ (CAL), $k=2$								1.88 dB	

表 J.2 试验过程

符号	不确定度来源 X_i	$U(X_i)/\text{dB}$	分布	因子	$u(x_i)/\text{dB}$	c_i	$u_i(y)/\text{dB}$	$u_i(y)^2$
CAL	电平设置	1.88	正态 $k=2$	2.00	0.94	1	0.94	0.89
AL	天线位置和吸波材料放置变化	0.38	$k=1$	1	0.38	1	0.38	0.14
PM _i ^a	功率计	0.3	矩形	1.73	0.17	1	0.17	0.03
PA _i	PA 增益快速变化	0.2	矩形	1.73	0.12	1	0.12	0.01
SW _i	SW 电平精度	0.6	矩形	1.73	0.35	1	0.35	0.12
SG	信号发生器稳定度	0.13	矩形	1.73	0.08		0.08	0.01
$\sum u_i(y)^2$								1.20
$\sqrt{\sum u_i(y)^2}$								1.10
扩展不确定度 $U(y)$, $k=2$								2.19 dB
^a 如果用功率计对信号发生器的输出电平进行控制,则在表格中包含 PM _i 。否则,应考虑信号发生器及功率放大器的稳定度和漂移。在这个例子中,因为功率放大器作为功率放大器输出控制的一部分,不会对不确定度预评估产生影响,所以考虑功率计的不确定度贡献就足够了。								

J.2.4 术语解释

FP 是场强探头不平衡(各向异性)、场强探头频率响应和温度敏感度的电平设置不确定度的组合。一般而言,这个数据可从探头数据表和(或)电平设置证书中获得。

PM_c 是包括功率计探头在内的功率计不确定度,可从制造商的说明书(作为矩形分布处理)或电平设置证书(作为正态分布处理)中获得。如果电平设置和试验使用同一个功率计,不确定度贡献可减少

到功率计的可重复性和线性度,此方法与表格一起应用。

PA_C 是包括由功率放大器达到稳态后的增益快速变化引起的不确定度。

SW_C 是由电平设置过程中,信号发生器和软件的试验电平设置窗口的步进偏离引起的不确定度。软件窗口通常可由试验实验室调整。

CAL 是与电平设置过程相关的扩展不确定度。

AL 是由天线和吸波材料的移除和重新布置引起的不确定度。参考 ISO/IEC Guide 98-3,天线位置和吸波材料的摆放的变化是 A 类不确定度,此类不确定度可通过一系列观察数据的统计分析来评估。A 类不确定度分布通常不是测量设备不确定度的一部分,然而,因为这些不确定度分布的高度重要性以及与测量设备的紧密联系性需要予以考虑。

PM_i 是包括功率计探头在内的功率计不确定度,可从制造商的说明书(作为矩形分布处理)或电平设置证书(作为正态分布处理)中获得。如果电平设置和试验使用同一个功率计,影响因素可减少到功率计的可重复性和线性度,此方法应用在表格中。

如果在试验过程中不使用功率计控制功率放大器,则 PM_i 无须考虑。(与本文件中的图 6 相比)。在这种情况下考虑信号发生器和功率放大器的不确定度。

PA_i 是包括由功率放大器达到稳态后的增益快速变化引起的不确定度。

SW_i 是由试验过程中,信号发生器和软件窗口的离散的步进引起的不确定度。软件窗口通常可由试验实验室调整。

SG 是在驻留时间内信号发生器的漂移。

J.3 应用

计算出的 MU 数值(扩展不确定度)可被用于多个目的,例如,作为产品标准的说明或者用于实验室认证。计算的结果不用于在试验过程中调整施加给 EUT 的试验电平。

J.4 参考文献

- [1] IEC/TR 61000-1-6 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 1-6: General—Guide to the assessment of measurement uncertainty
- [2] UKAS, M3003, Edition 4, 2019, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, free download on www.ukas.com
- [3] ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

附录 K

(资料性)

电场探头的校准方法

K.1 概述

根据本文件,宽频率范围和大动态响应的电场探头广泛地用在场均匀性电平设置程序。从另一个角度来说,场强探头校准的准确性直接影响到辐射抗扰度试验的不确定度。

根据本文件,在场均匀性校准中,通常探头在较低的场强下使用,例如 $1 \text{ V/m} \sim 30 \text{ V/m}$ 。因此用于本文件的电场探头校准要考虑频率和动态范围。

探头在不同的校准实验室进行校准,校准结果会有不同。因此规定场强探头校准的环境和方法。本附录提供了用于本文件的探头校准的相应信息。

对于几百 MHz 到 GHz 的频率,在电波暗室中用标准增益的喇叭天线生成一个标准场,是广泛应用于本文件的探头校准的方法之一。然而,缺少一个确定的方法用于确认场强探头校准的试验环境。

用这种方法,出现了不同校准实验室结果的差异超出了报告中的校准不确定度。

80 MHz 到几百 MHz 范围的场强探头用 TEM 波导校准有较好的重复性。

因此这个资料性附录注重于描述一个全面的校准程序,用喇叭天线来改进在电波暗室的探头校准程序。

K.2 探头校准要求

K.2.1 通用要求

预期用于本文件中定义的 UFA 电平设置程序的电场探头的校准应满足下列要求。

K.2.2 电平设置频率范围

频率范围至少是试验所需试验频率范围。

K.2.3 频率步进

为了能更好地比较不同校准实验室之间的试验结果,建议使用下列固定频率进行校正。使用较少或不同的频率在技术上是合理的。

——80 MHz 到 1 GHz 使用下列频率电平设置电场探头(通常用 50 MHz 的步进):80 MHz, 100 MHz, 150 MHz, 200 MHz, ..., 950 MHz, 1 000 MHz。

——1 GHz 到 6 GHz 使用下列频率电平设置电场探头(通常用 200 MHz 的步进):1 000 MHz, 1 200 MHz, 1 400 MHz, ..., 5 800 MHz, 6 000 MHz。

——6 GHz 以上的频段在考虑中。

注:对于同一个探头不用在 1 GHz 测量两次。

K.2.4 场强

探头校准的场强宜基于抗扰度试验要求的场强。首选的均匀场电平设置的方法是用至少 1.8 倍的施加到 EUT 的场强来进行,推荐使用 2 倍的预期试验场强(见表 K.1)。如果探头用于不同的场的等级,要根据探头的线性范围校准多个电平值,或至少在最大和最小的电平值进行校准。见 K.3.3。

注:校准使用 CW 信号,不加调制。

表 K.1 校准场强等级表

校准等级	校准场强
1	2 V/m
2	6 V/m
3	20 V/m
4	60 V/m
X	Y V/m
注：X,Y 是开放的校准等级,可比等级 1~4 高或者低。产品规范或试验实验室可给出这个等级。	

K.3 校准仪器的要求

K.3.1 概述

K.3.2~K.3.4 规定了执行现场探头校准所需的仪器的要求。

K.3.2 谐波和杂散信号

任何从功率放大器输出的谐波和杂散信号要比载波频率的电平低 20 dB。该要求适用于校准和线性试验的所有场强等级。因为功率放大器的谐波含量在高功率电平通常是更糟的,所以谐波试验只在最高等级的场强校准中进行。谐波试验可使用校准过的频谱分析仪,通过衰减器或者定向耦合器连接到功率放大器的输出端。

校准实验室通过测量,以确认放大器的谐波和/或杂散信号满足所有测量配置要求。该测量可通过频谱分析仪连接到定向耦合器的端口 3 来实现(用频谱分析仪的输入替代功率计探头—见图 k.2)。

注 1: 天线可能对谐波含量有额外的影响,需要另外检查。

注 2: 功率电平不能超过频谱分析仪的最大允许输入功率。能使用衰减器。

扫频宽度至少包括预期频率的 3 次谐波。在产生最高预期场强的功率电平进行确认测量。

可使用谐波抑制滤波器来提高功率放大器的频谱纯度(见附录 D)。

K.3.3 探头的线性测量

根据 I.4.2.6,在要求的动态范围内,用于验证暗室的探头的线性要在理想的线性响应的±0.5 dB 之内(见图 I.1)。如果探头有多个范围或增益设置,要对所有的预期范围设置确认线性响应。

通常探头的线性响应不会随频率有明显的改变。可采用接近预期频率范围的中间区域的特定的频率进行线性检查,在该频率区域,探头的频率响应相对平坦。选择的频率点要在校准证书中标明。

用足够小步进(例如 1 dB)来测量探头的线性响应,且测量场强宜控制在验证暗室中使用的场强的一6 dB~+6 dB。表 K.2 显示了 20 V/m 时,试验场强等级的示例。

表 K.2 探头线性测量的示例

信号电平 dB	校准场强 V/m
-6.0	13.2
-5.0	14.4

表 K.2 探头线性测量的示例（续）

信号电平 dB	校准场强 V/m
−4.0	14.8
−3.0	15.2
−2.0	16.3
−1.0	18.0
0	20.0
1.0	22.2
2.0	24.7
3.0	27.4
4.0	30.5
5.0	34.0
6.0	38.0

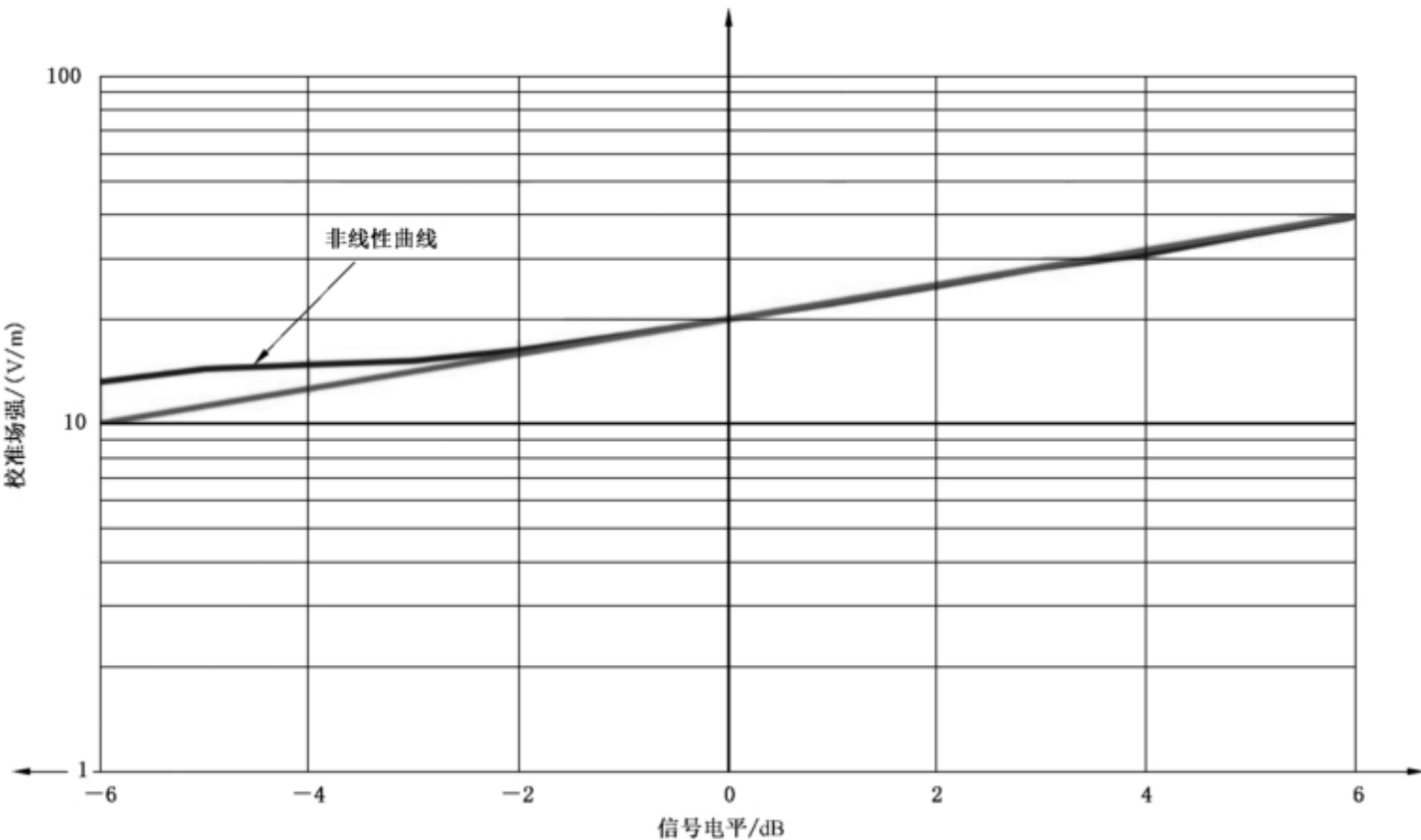


图 K.1 探头线性度的示例

K.3.4 标准喇叭天线增益的确定

标准角锥形喇叭天线的远场增益可准确地确定(在[1]²⁾中报告不确定度小于 0.1 dB)。远场增益的确定通常适用于距离大于 $8D^2/\lambda$ 的情况(D 是喇叭口径的最大尺寸, λ 是波长)。场强探头在这个距

2) 方括号中的数字指 K.6 中参考文献的编号。

离的校准需要用大型电波暗室和大功率的功率放大器,因此很难实现。场强探头通常在发射天线的近场区域进行校准。可用[2]中的公式确定标准增益喇叭天线的近场增益。在假设喇叭的口径是二次相位分布的情况下,增益的计算基于标准角锥形喇叭的物理尺寸。这种方式确定的增益不适用于暗室的 VSWR 试验和接下来的探头校准。

公式([2]中给出的)来自于口径的积分,假设没有反射发生在喇叭的口径,在口径的入射场是 TE_{10} 模式,但是以二次相角穿过口径。在积分时可应用一些近似值来获得封闭区间的结果。没有计算其他影响,例如喇叭边缘的多次反射,还有口径的更高阶的模式等。根据频率和喇叭设计,误差通常在 ± 0.5 dB,但是可能更大。

方括号中提到的参考文件在条款 K.6。

为了更好的准确度,可使用全波积分的数值法。例如,用数值法计算增益的不确定度可降低到小于 5%。喇叭天线的增益可用实验方法确定。例如,增益可使用三天线法在减少的距离用推导技术确定,例如[4]中描述的,或者一些变化的方法。

喇叭天线的增益可用实验确定,例如,增益可通过三天线法,在减少距离的情况下确定,例如[4]中描述的外推法,或其他的一些不同的方法。

在校准中推荐的天线和试验探头的距离至少为 $0.5D^2/\lambda$ 。近的距离会导致增益不确定度变大。对于近的距离,天线和探头之间的驻波也会变大,从而导致校准中出现大的 MU。

K.4 暗室内的场强探头校准

K.4.1 校准环境

探头校准宜在一个全电波暗室或者在地面铺设了满足 K.4.2.1 要求的吸波材料的半电波暗室中进行。如果使用全电波暗室,推荐的用于探头校准的最小内部工作尺寸是 5 m (长) $\times$ 3 m (宽) $\times$ 3 m (高)。

注:在低频,例如 80 MHz 到几百 MHz,使用电波暗室是不实际的,且具有较大的不确定性,在这些较低的功率下,能采用 TEM 等方法来确定功率。

或者,可使用传递探头建立电场(见 K.5.5)。用于探头校准的系统和环境应满足以下要求。

K.4.2 场强探头校准电波暗室的确认

K.4.2.1 概述

探头的校准需要一个自由空间环境。应使用场强探头进行暗室的 VSWR 试验,以决定该暗室是否可用于其后探头和探头的校准。该确认方法显示了暗室和吸波材料的性能。

每个探头有特定的体积和物理尺寸,例如电池盒和/或电路板。在其他的校准程序中,要保证在校准空间内有一个球形的静区。本附录的特定要求专用于位于天线波瓣轴上的试验点的 VSWR 试验。

试验固定装置及其影响不能被完全评估(例如探头的固定装置可能暴露在电磁场并干扰校准)。需要做单独的试验以确认固定装置的影响。

K.4.2.2 用定向耦合器测量装置的净功率

传递到发射装置的净功率可使用一个 4 端口的双向定向耦合器试验,或者两个 3 端口的单向定向耦合器背对背地连接(构成“双向定向耦合器”)。使用双向定向耦合器测量装置的净功率的通用设置显示在图 K.2。

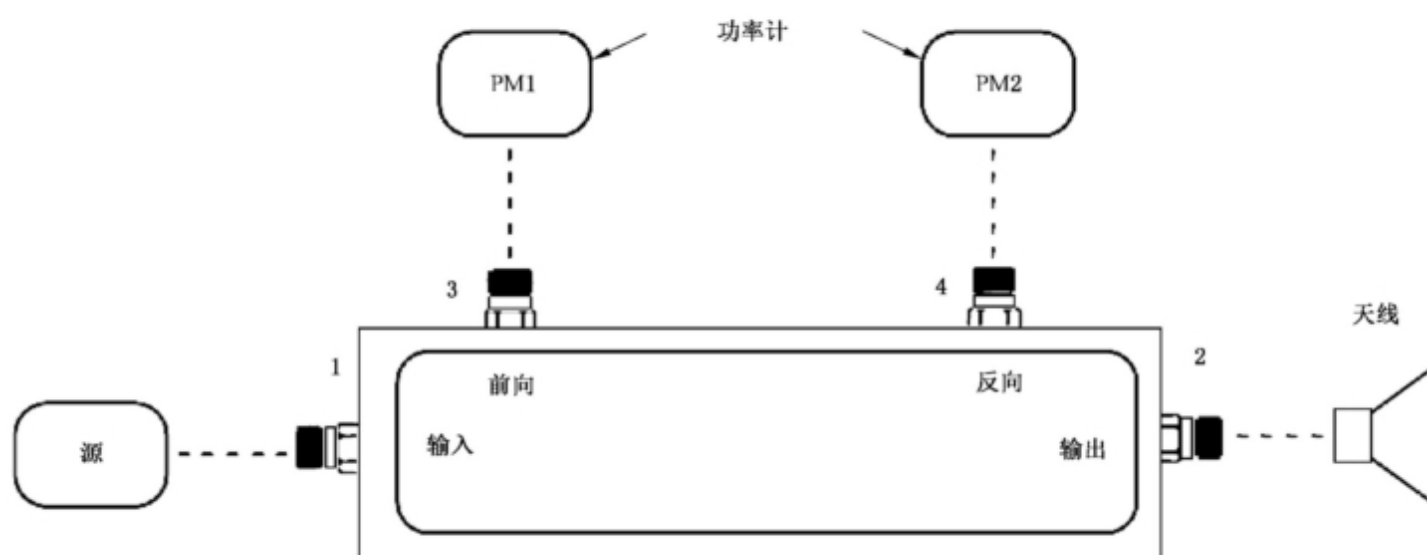


图 K.2 发射装置净功率测量配置

在每个端口的负载和源都匹配的情况下,前向耦合、反向耦合和传输耦合用下面的公式定义:

$$\text{前向耦合} \quad C_{\text{fwd}} = \frac{P_3}{P_1} \quad \dots\dots\dots (\text{K.1})$$

$$\text{反向耦合} \quad C_{\text{rev}} = \frac{P_4}{P_2} \quad \dots\dots\dots (\text{K.2})$$

$$\text{传输耦合} \quad C_{\text{trans}} = \frac{P_2}{P_1} \quad \dots\dots\dots (\text{K.3})$$

式中, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 是定向耦合器每个端口对应的功率,单位为瓦(W)。

到发射设备的净功率是:

$$P_{\text{net}} = \frac{C_{\text{trans}}}{C_{\text{fwd}}} PM_1 - \frac{PM_2}{C_{\text{rev}}} \quad \dots\dots\dots (\text{K.4})$$

式中, PM_1 和 PM_2 是功率计线性读数。

如果知道天线的 VSWR,可使用一个单独的三端口耦合器。例如,如果天线的 VSWR 为 1.5 那么等效于电压反射系数为 0.2。

准确度受到耦合器方向性的影响。方向性是衡量耦合器隔离前向和反向信号的能力的量。对于一个匹配良好的发射装置,反向功率比正向功率小很多。因此,方向性的影响没有反射性的影响重要。例如,发射天线的 VSWR 是 1.5,耦合器的方向性是 20 dB,由限定方向性决定的净功率的绝对最大不确定度是 $0.22 \text{ dB} - 0.18 \text{ dB} = 0.04 \text{ dB}$,符合 U 形分布(0.22 dB 是 1.5 的 VSWR 产生的人射功率的损耗)。

发射装置发射的净功率是:

$$P_{\text{net}} = C_{\text{fwd}} PM_1 (1 - \text{VRC}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{K.5})$$

K.4.2.3 用喇叭天线生成一个标准场

喇叭天线的增益用 K.3.4 描述的方法获得。天线轴向电场(V/m)由公式(K.6)确定

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{\text{net}} g}{4\pi}} \frac{1}{d} \quad \dots\dots\dots (\text{K.6})$$

式中,自由空间中 $\eta_0 = 377 \Omega$, P_{net} (W) 是 K.2.2 中描述的方法的净功率, g 是 K.3.4 确定的天线的增益, d 是到天线口径距离(m)。

K.4.2.4 暗室验证试验频率范围和频率步进

暗室的 VSWR 试验应覆盖预期的电平设置探头的频率范围,使用 K.2.3 一样的频率步进。

暗室 VSWR 试验应在所用的每个天线的最低和最高的工作频率进行。如果用窄带吸波材料,例如铁氧体,需要试验更多频率点。仅在符合 VSWR 判据的频率范围内,暗室宜用于探头校准。

K.4.2.5 暗室确认程序

一般探头校准的暗室应用下列程序确认。当暗室的物理条件不允许,要应用 K.4.2.8 的替代方法。

探头应放在测量位置,使用低介电常数的支撑材料(例如泡沫聚苯乙烯),与图 K.3 和图 K.4 一致。

场强探头放在校准时使用的位置。场强探头的极化方向和沿着发射喇叭天线轴向的位置变化将会影响暗室的 VSWR。发射天线应与暗室的 VSWR 试验和探头校准一致。

标准增益喇叭天线和暗室里探头的布置如图 K.3 所示。探头和喇叭天线应被放置在从天线口面到探头中心的距离为 L 的同一水平轴线上。

在任何情况下,场强探头应正对喇叭天线口面的中心放置。

单位为厘米

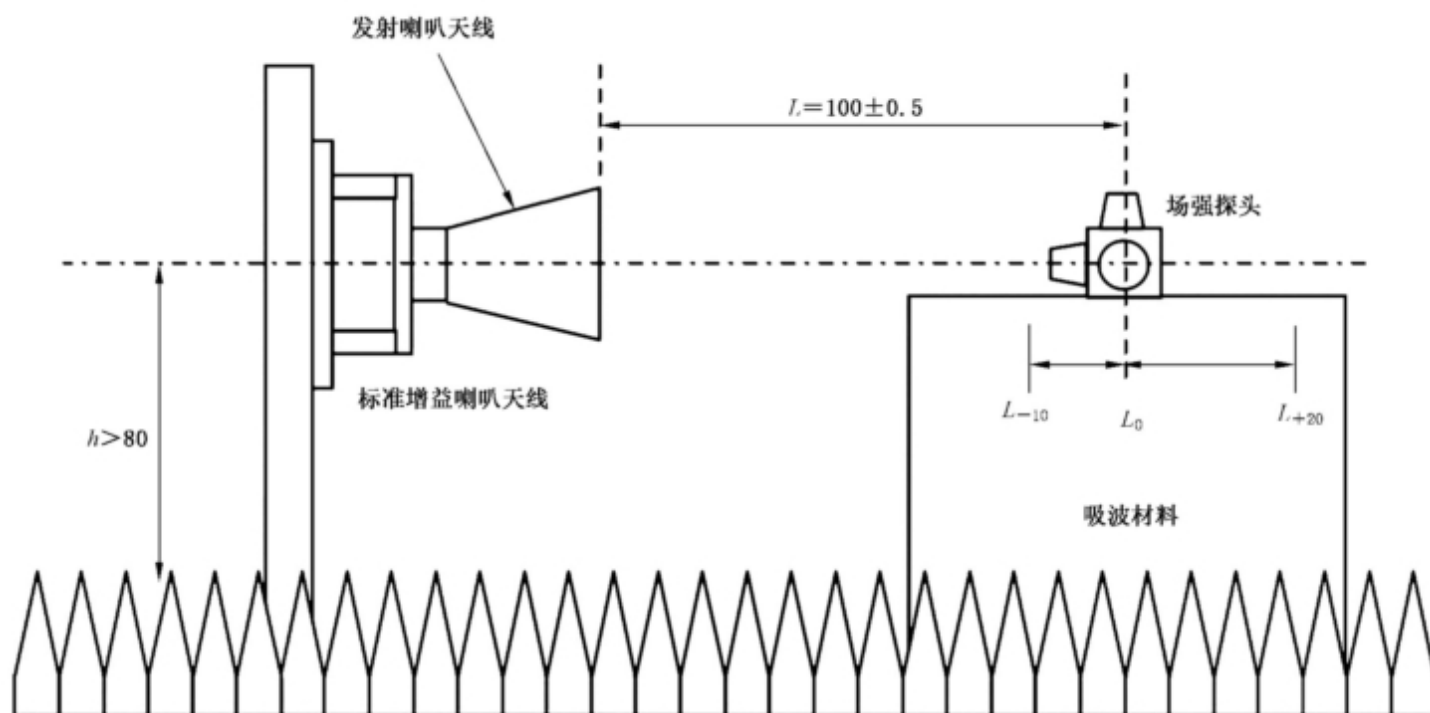


图 K.3 暗室验证试验的试验布置

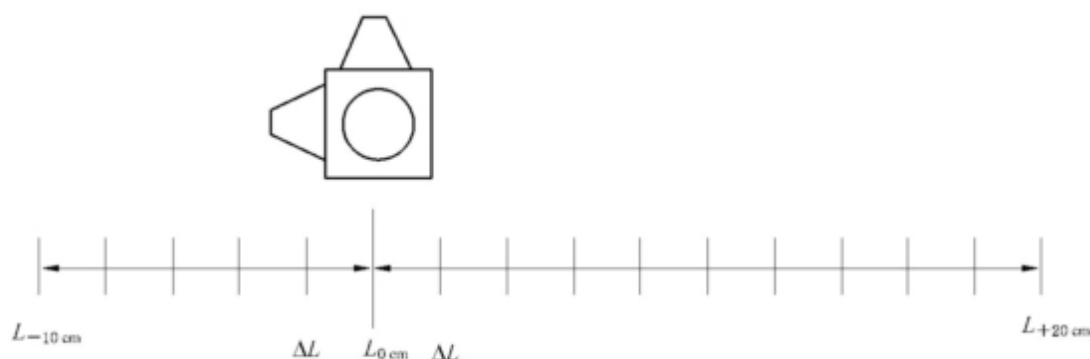


图 K.4 测量位置 ΔL 的细节描述

图 K.3 和图 K.4 显示的配置中, $L_{-10\text{ cm}} \sim L_{+20\text{ cm}}$ 是探头校准距离, 从喇叭天线口面到场强探头中心。 $L_{0\text{ cm}}$ 定义为位置 0。

位置包括 $L-10\text{ cm}, L-8\text{ cm}, L-6\text{ cm}, \dots, L_0, L+2\text{ cm}, L+4\text{ cm}, \dots, L+20\text{ cm}, \Delta L=2\text{ cm}$ 。如果探头放在发射喇叭天线的近场(距离 $< 2D^2/\lambda$, D 是天线的最大尺寸, λ 是自由空间波长), 发射天线的增益不是常数, 需要分别确定发射天线在每个点的增益。在所有探头位置上, 使用 1 m 的距离恒定功率生成相应

的场强(例如 20 V/m)进行试验。当发射天线和场强探头都垂直极化时,在所有位置所有频率记录探头读数。天线和探头都水平极化时,重复试验。

所有的读数应满足 K.4.2.6 的要求。

K.4.2.6 VSWR 的接受准则

VSWR 测量结果应通过使用下面的程序比较。场强的计算参考 K.4.2.3。

a) 场强的计算

在每一个频率上,以 2 cm 的步进计算 90 cm~120 cm 的空间区域内的电场强度。

这个计算基于已被验证的 1 m 距离的电场强度。

b) 数据的调整

用下面的程序调整数据,由于用于 VSWR 试验的探头不必给出与场强的计算值相同的读数。

——探头在 1 m 距离的电场强度显示值应被调整成 1 m 位置的计算值。所获得的探头显示值与计算的场强值之间的差异为修正值 k ,用于 90 cm~120 cm 的所有数据。

如:比较 1 m 距离的探头测量值 V_{mv} (如 21 V/m)与计算值 V_{cv} (如 20 V/m)。修正值 k 是 $V_{cv} - V_{mv} = -1$ V/m。

——修正值 k 应加到在测量位置 90 cm~120 cm 观察的数据中。

——应对所有测量频率的测量值应用同样的计算。在上面的例子中, $k = -1$ V/m。因此 $k = -1$ 加到所有探头测量数据上。

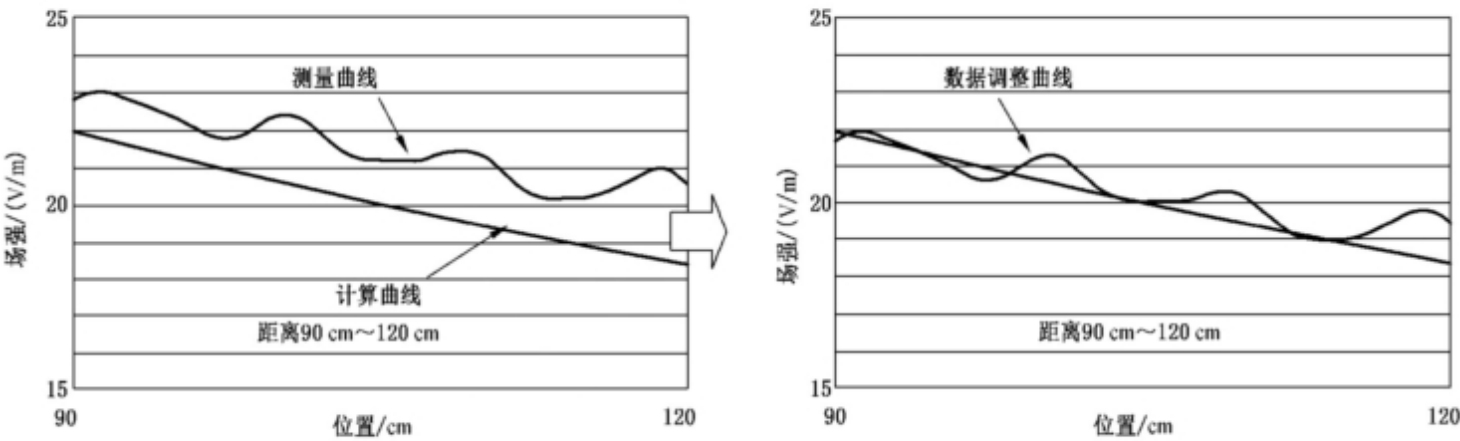


图 K.5 数据调整的示例

c) 测量数据和计算数据的对比

在任何试验点,当测量曲线和计算曲线的数据差异超过±0.5 dB,暗室不能用作探头校准。

注:0.5 dB 的评判标准是根据 MU 的预估值确立的,而且已经被一些现存的适合做场强探头校准的暗室(包括至少一个国家级测量机构校准)验证。总之所有不确定度仅提供一个。

一些场强探头有金属外壳或者探头杆,例如电池或电路。这些元件可能在一些距离和频率上引起反射误差。当使用这些探头,应用旋转探头或者改变方向的方法尽可能地缩小反射的影响。

K.4.2.7 探头固定装置的验证

在探头校准中探头固定装置可引起电磁场的反射。因此,固定装置对校准结果的影响应首先被检测。当使用任何新的探头固定装置时,使用本条款定义的程序进行检测。

程序如下:

- a) 把探头放在相对介电常数小于 1.2,损耗正切角小于 0.005 的支撑材料上。探头的位置要与校准设置一样。参考固定装置宜尽可能地小。其他支撑物要不影响试验,并且至少离探头 50 cm 远。避免支撑材料在探头之前(探头和天线之间)或之后。

- b) 在校准位置生成探头的动态范围内的标准场。
- c) 记录所有的校准频率点的探头读数。如果需要在每个校准位置旋转或者重新定位探头(对各向同性场强探头,每个轴向可能需要分别校准),重复步骤 a)和步骤 b)。记录所有方向的探头读数。
- d) 移除参考固定装置并用待测的探头固定装置取代,重复步骤 b)和步骤 c)。
- e) 比较 c)和 d)的结果。两个固定装置读数的差异在同样的探头方向应小于 ± 0.5 dB。

K.4.2.8 暗室确认的替代程序

K.4.2.5 不适用的时候,可使用该暗室确认的替代程序。

将场强探头放在用于校准的位置。场强探头的极化方向和沿着发射喇叭天线轴向的位置变化将会影响暗室的 VSWR。发射天线应和暗室 VSWR 的试验以及探头校准时所用发射天线相同。

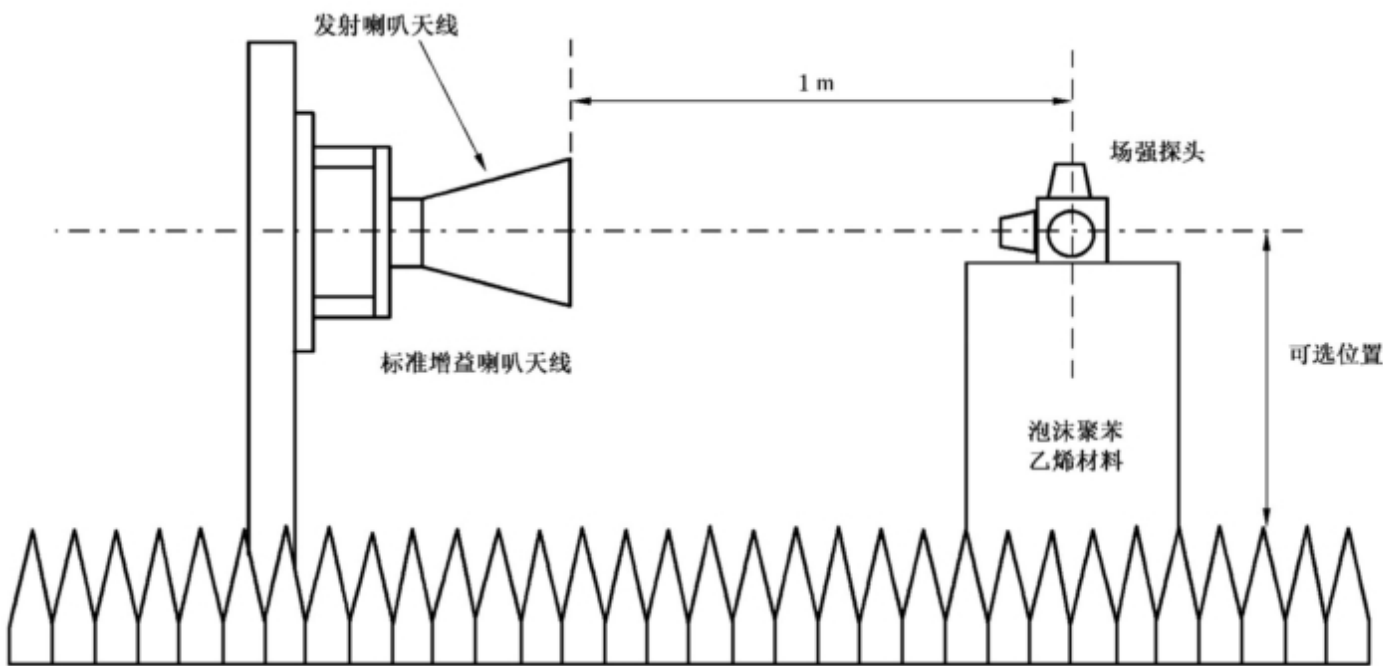


图 K.6 天线和探头试验布置示例

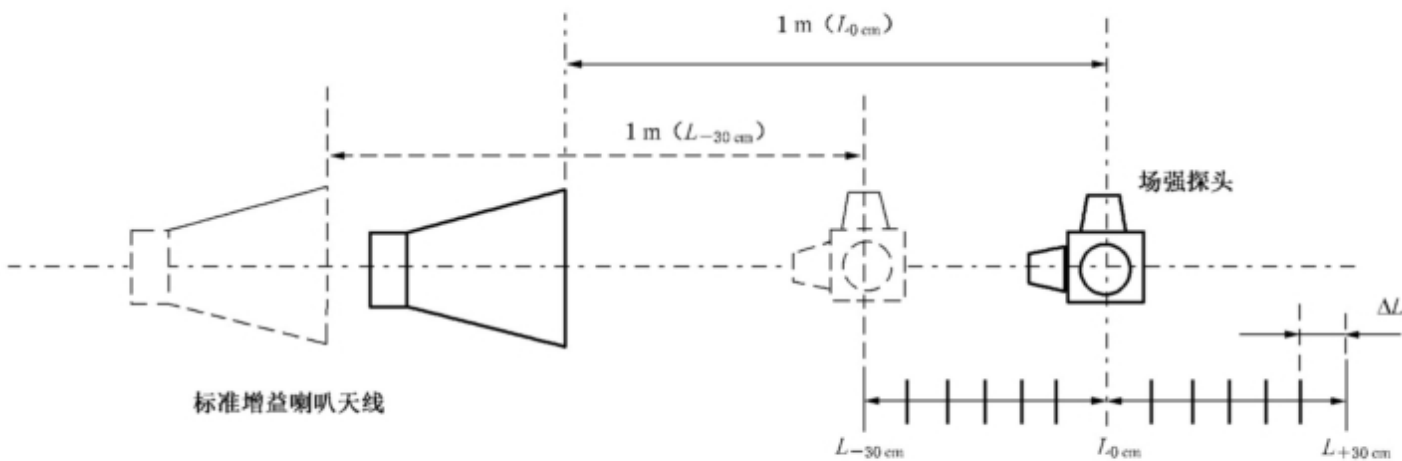


图 K.7 暗室验证试验的试验配置

配置显示在图 K.6 和图 K.7,从喇叭天线的口面到场强探头的中心的探头校准距离保持不变,例如 1 m。

为防止对测量产生影响,最好使用低介电常数的材料做探头固定装置。用于探头校准的固定装置应另外评估(见 K.4.2.7)。

位置分别为 $L-30\text{ cm}$, $L-25\text{ cm}$, $L-20\text{ cm}$, $\cdots$, L_0 , $L+5\text{ cm}$, $L+10\text{ cm}$, $\cdots$, $L+30\text{ cm}$, ΔL 为 5 cm 。

在所有位置生成恒定场,例如 20 V/m 。生成的场强需要在场强探头的动态范围之内。发射天线和场强探头都使用垂直极化;记录所有位置的所有频率的探头读数。将天线和探头水平极化,重复试验。

在每个频率,读取 26 个独立的探头读数(13 个点,两个极性,见图 K.8)。读数在每个频率的最大偏差要小于 $\pm 0.5\text{ dB}$ 。

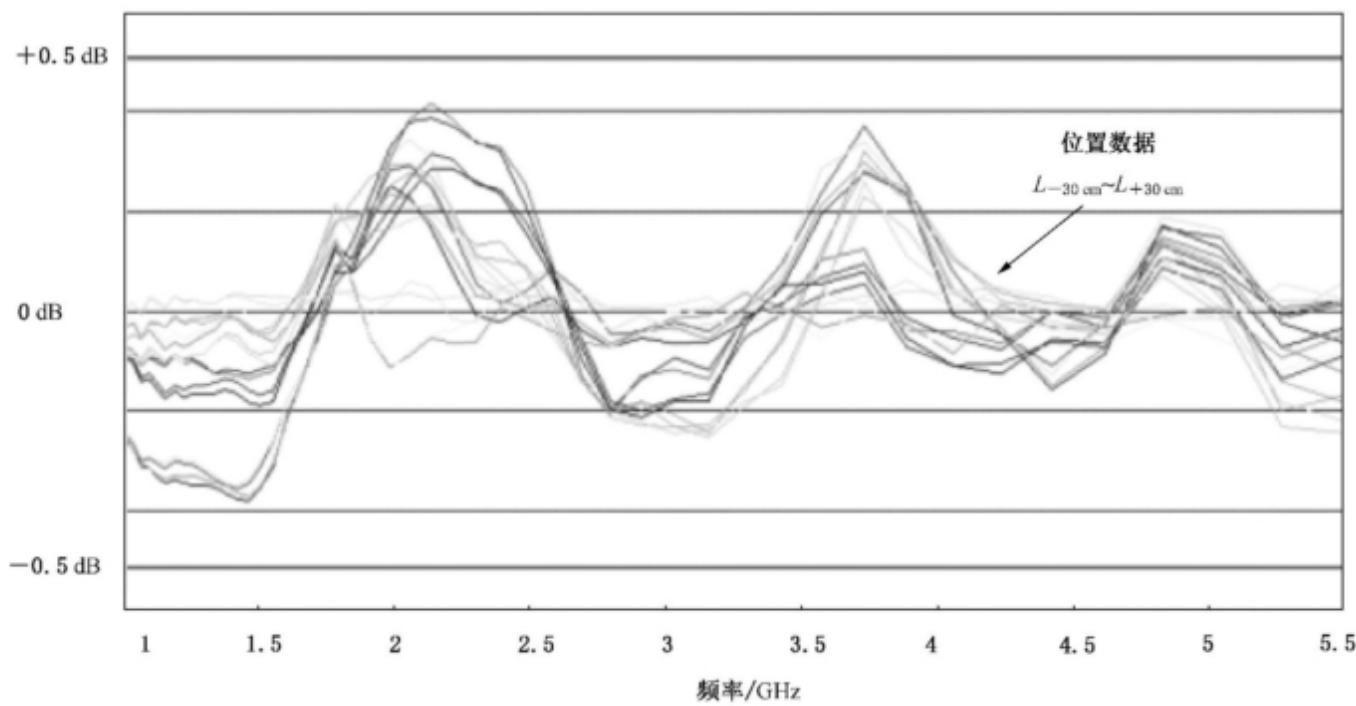


图 K.8 暗室确认替代方法的数据示例

K.4.3 探头校准程序

K.4.3.1 概述

许多新式的探头有内部的修正系数以提供线性响应。校准实验室可在校准中调整该系数以给出满足理想值 $\pm 0.5\text{ dB}$ 的探头响应。如果做调整,校准实验室宜在报告中记录调整前后的数据。

校准探头的时候,宜使用线性试验程序。校准系统的线性影响,参考 K.3.3。

注:如果不可能调整探头,用户在实施场均匀性校准的时候需补偿非线性。

探头校准应使用满足 K.4 要求的测量系统/环境。

K.4.3.2 试验布置

不能完全满足 K.4.2.7 的探头固定装置会导致大的 MU。因此应使用 K.4.2.7 验证过的探头固定装置。

考虑到探头方向性,场强探头的校准宜使用适合使用者规范或者生产商规范的方法。这个方向性应被试验实验室使用以限制各向同性的影响。如果生产商在数据表中未说明任何场强探头的方向性,校准探头方向宜考虑在“通常使用”方向进行校准或按试验实验室(要使用探头的)首选的方向进行校准。任何情况下校准报告均应包含探头校准时的方向。

测量布置的示例见图 K.9 和图 K.10。

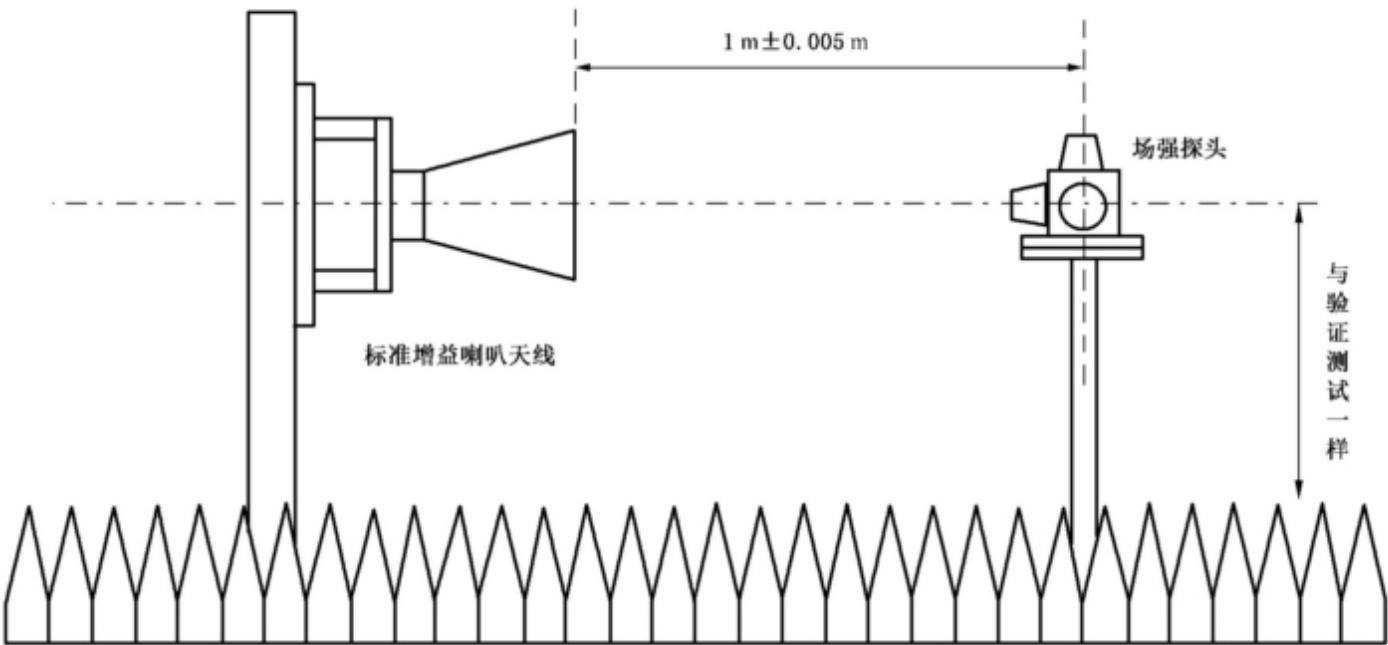


图 K.9 场强探头校准布置

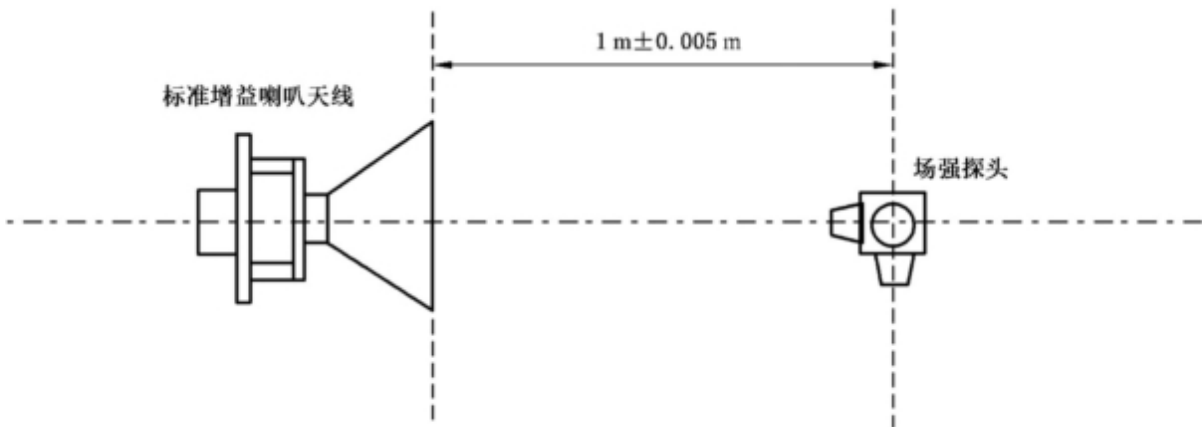


图 K.10 场强探头校准布置(俯视)

K.4.3.3 校准报告

从 K.4.3.2 得到的试验结果生成校准报告。
报告包括至少以下内容。

- a) 校准环境。
- b) 探头厂家。
- c) 型号名称。
- d) 序列号。
- e) 校准日期。
- f) 温湿度。
- g) 校准数据：
 - 频率；
 - 施加的场强(V/m)；
 - 探头读数(V/m)；
 - 探头方向。
- h) MU。

注：IEEE Std 1309 [2]中包括的探头 MU 的指南。

K.5 替代的探头校准环境和方法

K.5.1 概述

K.5 描述了其他校准场所的环境要求,例如在低频范围内校准所必需的 TEM 波导。

校准能在与本文件中描述的试验环境无关的环境中进行。与用于抗扰度试验的设备相比,场强探头通常尺寸小且不连接线缆。

K.5.2 使用 TEM 室校准场强探头

矩形 TEM 室能建立用于场强探头校准的标准场。TEM 室的可用上限频率取决于标准 IEC 61000-4-20 中 5.2 所述的方法。TEM 室的上限频率典型值是几百 MHz。TEM 室芯板与上顶板或下底板之间中心位置处的场强由下式计算:

$$E = \frac{\sqrt{Z_0 P_{\text{net}}}}{h} (\text{V/m}) \quad \dots\dots\dots (\text{K.7})$$

式中, Z_0 是 TEM 室的特性阻抗(典型值 50Ω), P_{net} 是净功率,单位为瓦(W),依据 K.4.2.2 确定, h 是芯板与上顶板或下底板之间的距离,单位为米(m)。

TEM 室的 VSWR 宜保持小值,如小于 1.3 以减小 MU。

测量 P_{net} 的替代方法是使用校准过的、低 VSWR 的衰减器和连接到 TEM 室出口口的功率探头进行测量。

K.5.3 用波导室校准场强探头

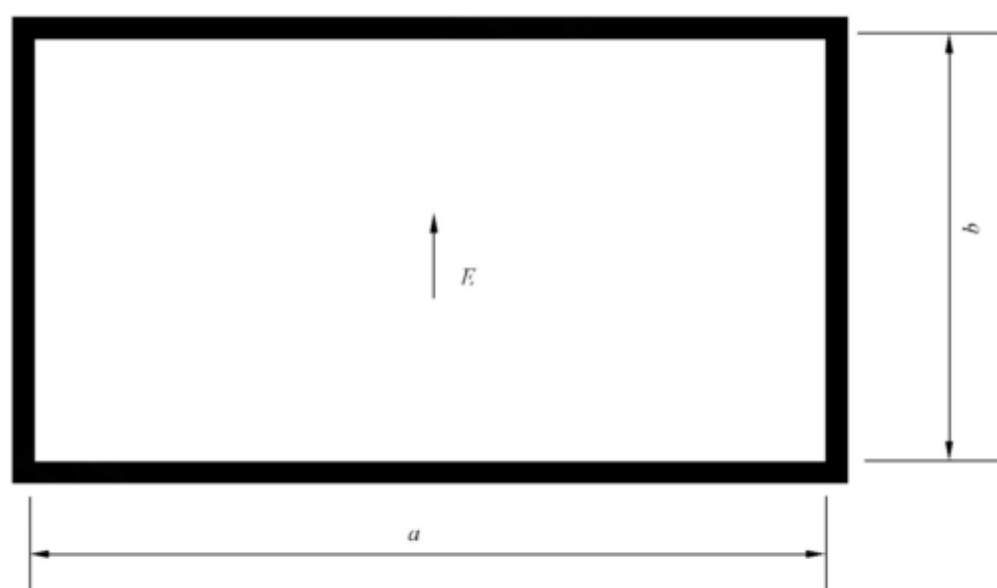


图 K.11 波导室横截面图

校准实验室应确保波导室工作在主模 TE_{10} 模式。应避免能激发更高次模式的频率。波导制造商一般指定只保证主模存在的频率范围。也可由波导尺寸来确定。

在使用典型尺寸探头时,波导室限制频率范围大约是 300 MHz~1 000 MHz,内部尺寸为 $a(\text{m}) \times b(\text{m})$ ($a > b$) 的波导室,主模 TE_{10} 模式的截止频率为:

$$(f_c)_{10} = \frac{1}{2a \sqrt{\mu\epsilon}} \quad \dots\dots\dots (\text{K.8})$$

式中, μ 和 ϵ 是波导材料的磁导率和介电常数。对充满空气的波导, $\mu = \mu_0 = 400\pi \text{ nH/m}$ 和 $\epsilon = \epsilon_0 = 8.854 \text{ pF/m}$ 。充满空气的波导室的截止频率为:

$$(f_c)_{10} = \frac{150}{a} \text{ MHz} \quad \dots\dots\dots (\text{K.9})$$

波导中心电场强度的均方根值为:

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{\text{net}}}{ab \sqrt{1 - [(f_c)_{10}/f]^2}}} \quad \dots\dots\dots (\text{K.10})$$

式中, f (MHz) 是工作频率, 充满空气的波导中 $\eta_0 = 377 \, \Omega$, P_{net} 是提供给波导的净功率, 并且依据 K.4.2.2 中描述的方法确定。值得注意的是: 波导室中的场不是 TEM 波, 且波导中心位置的场强最大 (具有正弦分布, 到侧壁逐渐减小到零)。建议在波导中心位置实施场强探头的校准, 此处场分布较其他位置变化较少 (更均匀)。有关波导的更多信息包括如何计算其他模式的截止频率, 参见参考文献 [5]。

K.5.4 使用开口波导校准场强探头

开口波导的近场增益的解析解法和实验解法参见参考文献 [6]。由于用简单的理论计算开口波导的近场增益是不可能的, 所以采用全波数字技术或者测量技术得到开口波导的近场增益, 参见参考文献 [4]。

一旦开口波导的近场增益被确定, 校准应遵循 K.4.3 列出的程序。

K.5.5 用增益传递法校准场强探头

可使用传递探头在场发生设备 (工作标准装置) 里建立标准场。传递探头的响应可通过理论计算 (如偶极子探头), 或依据 K.5.2 或 K.5.3 描述的方法进行校准得到。工作标准装置的传输函数可由传递探头确定, 如 GHz TEM 室。工作基准设备中的场分布宜通过传递探头映射, 也就是说, 为了评估场的均匀性, 应在试验空间里尽可能多的位置进行测量。一旦获得了工作标准装置的传输函数, 在工作标准装置是线性的前提条件下, 探头校准可在其他功率等级上进行。待校准的探头应放置在传递探头的同一位置。

如果满足以下条件, 传递法将视为是正确的:

- 在传递和校准过程中, 布置保持不变;
- 进行测量时, 探头位置能再现;
- 发射功率保持相同;
- 受试探头在结构上 (尺寸和元件设计) 和传递探头相似;
- 连接探头和数据显示装置之间的线缆不能扰乱场或接收场强;
- 工作标准装置很大程度上是无反射的。

参考文献 [7] 和参考文献 [8] 对以上方法有提供更多信息。

K.6 参考文献

- [1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H., LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J. D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Inter-comparison of Horn Gain at X-Band. IEEE Trans. On Antennas and Propagation, October 1996, Vol. 44, No. 10
- [2] IEEE 1309, Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz
- [3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. IEEE Trans. On EMC, 1999, Vol. 41, No. 2
- [4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. IEEE Trans. On Antennas

and Propagation, July 1973, Vol. AP—21, No. 4

[5] BALANIS, C. A.. Advanced Engineering Electromagnetics. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp 363—375.

[6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open—ended rectangular waveguide. IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, November 1989, Vol. 31, No. 4

[7] GLIMM, J., MÜNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18—20, 1997, ISBN 3—9521199—1—1, pp. 611—613

[8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated—susceptibility testing. Frequenz 53 (1999) 9—10, Page 190—194

参 考 文 献

- [1] GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容
- [2] GB/T 14733.7—2008 电信术语 振荡、信号和相关器件
- [3] GB/T 14733.9—2008 电信术语 无线电波传播
- [4] GB/T 14733.10—2008 电信术语 天线
- [5] GB/T 14733.12—2008 电信术语 光纤通信
- [6] GB/Z 18509—2016 电磁兼容 电磁兼容标准起草导则
- [7] IEC 60050-161:2014 AMENDMENT 10 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 161:Electromagnetic compatibility
- [8] IEC 60050-702:2016 International Electrotechnical Vocabulary—Part 702:Oscillation, signals and related devices
- [9] IEC 60050-713:1998 International Electrotechnical Vocabulary—Part 713:Radiocommunications;transmitters, receivers, networks and operation
- [10] IEC 60050-725:1994 International Electrotechnical Vocabulary—Chapter 725:Space radiocommunication
- [11] IEC TR 61000-2-5 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 2-5:Environment—Description and classification of electromagnetic environments
- [12] IEC 61000-4 (all parts) Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-X: Testing and measurement techniques
- [13] IEC 61000-4-6 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-6: Testing and measurement techniques-Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
- [14] IEC 61000-4-20 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-20: Testing and measurement techniques—Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides
- [15] IEC 61000-4-21 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-21: Testing and measurement techniques—Reverberation chamber test methods
- [16] IEC 61000-4-22 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-22: Testing and measurement techniques-Radiated emissions and immunity measurements in fully anechoic rooms (FARs)
- [17] IEC 61000-4-39 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-39: Testing and measurement techniques—Radiated fields in close proximity-Immunity test
- [18] IEC GUIDE 107 Electromagnetic compatibility—Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications
- [19] CISPR 16-1-4 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
- [20] CISPR TR 31 Database on the characteristics of radio services
- [21] IEEE std 1309-EEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes (Excluding Antennas) from 9 kHz to 40 GHz