



中华人民共和国国家标准

GB/T 17626.22—2017/IEC 61000-4-22:2010

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

Electromagnetic compatibility(EMC)—Testing and
measurement techniques—Radiated emissions and immunity
measurements in fully anechoic rooms(FARs)

[IEC 61000-4-22:2010, Electromagnetic compatibility (EMC)—
Part 4-22: Testing and measurement techniques—Radiated emissions
and immunity measurements in fully anechoic rooms(FARs), IDT]

2017-12-29 发布

2018-07-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 应用 FAR 测量的被测量	3
4.1 辐射抗扰度试验的被测量	3
4.2 辐射发射测量的被测量	3
5 FAR 场地确认/校准程序	3
5.1 概述	3
5.2 FAR 场地确认/校准的配置	3
5.3 试验设备和设施的基本特性	7
5.3.1 概述	7
5.3.2 试验空间	7
5.3.3 宽带天线	7
5.3.4 天线的连接电缆	7
5.3.5 试验台/桌	7
5.3.6 转台	7
5.3.7 天线极化自动变换器	7
5.3.8 吸波材料布置	7
5.4 FAR 确认程序所确定的量的定义	7
5.5 FAR 确认时的取样位置	8
5.6 FAR 确认程序	9
5.6.1 概述	9
5.6.2 配置类型 1 的确认	10
5.6.3 配置类型 2 的确认	10
5.6.4 配置类型 3 的确认	10
5.6.5 配置类型 4 的确认	11
5.6.6 所有配置类型的 $\overline{C}_{dB}$ 和 $s_{dB,C}$ 的计算	11
5.7 确认要求	11
6 试验布置	12
附录 A (规范性附录) 辐射抗扰度试验	15
附录 B (规范性附录) 辐射发射测量	19
附录 C (资料性附录) 有关系统转换系数和一次性完成的发射确认/抗扰度校准方法的背景知识 ..	22
附录 D (资料性附录) 测量不确定度	24
参考文献	36

图 1 类型 1 的确认/校准框图	4
图 2 类型 2 的确认/校准框图	4
图 3 类型 3 的确认/校准框图	5
图 4 类型 4 的确认/校准框图	5
图 5 用于 FAR 确认的取样点的位置示意图	9
图 6 台式设备的试验布置示例	12
图 7 台式设备的试验布置示例俯视图	13
图 8 落地式设备的试验布置示例	13
图 9 落地式设备的试验布置示例俯视图	14
图 A.1 抗扰度试验中 d_{mea} 的定义	16
图 B.1 发射测量 d_{meat} 的定义	19
图 D.1 发射测量影响因素的例子	24
图 D.2 对抗扰度试验方法有影响的因素示例	30
表 1 不同类型配置所必备的基本测量仪器	6
表 2 FAR 确认准则	11
表 D.1 FAR 中 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的辐射发射测量的测量设备和设施的不确定度 ...	25
表 D.2 FAR 中 1 GHz~18 GHz 频率范围的辐射发射测量的测量设备和设施的不确定度	26
表 D.3 FAR 中 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的抗扰度试验电平设定的测量设备和设施的不 确定度	30
表 D.4 FAR 中 1 GHz~18 GHz 频率范围的抗扰度试验电平设定的测量设备和设施的不确定度	32

前 言

GB/T 17626《电磁兼容 试验和测量技术》为电磁兼容系列标准。目前已发布的国家标准包括：

- | | | | |
|--------------------|------|---------|---|
| 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—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 静电放电抗扰度试验； |
| 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； |
| GB/T 17626.4—2008 | 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—2008 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 浪涌(冲击)抗扰度试验； |
| GB/T 17626.6—2008 | 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、谐间波的测量和
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—1998 | 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—2008 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度
试验； |
| GB/T 17626.12—2013 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 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 17626.20—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—2012 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 电能质量测量方法； |
| 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。 |

本部分为 GB/T 17626 的第 22 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 61000-4-22:2010《电磁兼容 第 4-22 部分：试验和测量技术 全电波暗室(FAR)中的辐射发射和抗扰度测量》。

本部分做了下列编辑性修改：

——为与现有标准系列一致，将标准名称改为《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》。

本部分由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本部分起草单位：工业和信息化部电子工业标准化研究院、中国计量科学研究院、中国电力科学研究院、上海电器科学研究院、工业和信息化部电子第五研究所、东南大学、航天集团 203 所、国家无线电监测中心、陕西海泰电子有限责任公司。

本部分主要起草人：陈俐、谢鸣、崔强、朱文立、孟东林、李妮、周忠元、马蔚宇、叶畅、郭恩全、郑军奇、王文俭。

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

1 范围

GB/T 17626 的本部分涉及电子和/或电气设备的辐射发射和辐射抗扰度的测量,规定了在全电波暗室(FAR)内进行的辐射发射和辐射抗扰度的试验程序。

注:依据 GB/Z 18509,本部分是供相关产品委员会使用的电磁兼容基础标准,如导则 GB/Z 18509 所述,产品委员会负责确定对其 EMC 产品类标准的适用性,TC 77/SAC/TC 246、CISPR/SAC/TC 79 及其分委员会(例如,SAC/SC 7)已准备好与产品委员会在标准制定和修订的合作中一起来确定特定 EMC 试验在具体产品中的作用。

本部分规定了在同一个全电波暗室进行辐射发射测量与辐射抗扰度试验时的通用确认程序、受试设备(EUT)的试验布置要求以及全电波暗室测量方法(详见附录 A 和附录 B)。

作为电磁兼容基础测量标准,本部分对应用于具体装置或系统的抗扰度试验电平或发射限值不做具体规定,其主要目标是为国内相关产品委员会提供常规测量程序,而针对产品的具体要求和试验条件由相应的产品委员会来规定。

本部分的方法适用于 30 MHz~18 GHz 频率范围内的辐射发射和抗扰度测量。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2900.82—2008 电工术语 核仪器 仪器、系统、设备和探测器(IEC 60050-394:2007, IDT)

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—2016 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 16-1-1:2010, IDT)

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(CISPR 16-1-4:2012, IDT)

3 术语和定义

GB/T 4365—2003 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

测量辅助设备 ancillary equipment

与测量接收机或测试/试验信号发生器相连、用以建立 EUT 和测量设备之间的骚扰信号传输途径的传感器(例如,电流探头、电压探头和人工电源网络等)。

3.2

EUT 辅助设备 associate equipment

AE

不属于被测系统的一部分、用于辅助 EUT 运行的装置。

3.3

系统平均转换系数 average system transducer factor

$\overline{C}_{\text{dB}}$

将系统的源端/接收端的电压转换为激励/接收场强的系数,对于水平极化和垂直极化,该参数由 FAR 的确认数据分别计算。

注:系统平均转换系数单位为分贝每米(dB/m)。

3.4

校准 calibration

在规定的条件下,确定测量仪表或测量系统的指示值或某一物质测量代表的值或某一参考物质代表的值与相应标准规定值之间关系的一组活动。

[GB/T 2900.82—2008,定义 394-40-43]

3.5

前向功率 forward power

$P_{f,x}$

在试验空间的某个位置 x 处进行场强测量时记录的输入到 FAR 测试系统的功率。

注:前向功率单位为瓦(W)。

3.6

全电波暗室 fully anechoic room; FAR

其内表面全部安装有射频吸波材料的屏蔽室,该射频吸波材料可在所关注的频率范围内吸收电磁能量。

3.7

全电波暗室测试系统 fully anechoic room test system; FAR test system

由 FAR 与产生和/或测量电磁场的仪器组成的测试系统。

注:通常全电波暗室测试系统是由 FAR、天线、相关的测量辅助设备和所需的连接电缆组成的系统。需要说明的是,这里所定义的测试系统未包含测量接收机。

3.8

测量距离 measurement distance

d_{mea}

从发射天线/接收天线的参考点沿测量轴线到 EUT 边界最近点之间的距离。

注:测量距离如图 A.1 和图 B.1 所示,单位为米(m)。

3.9

归一化前向功率 normalized forward power

$P_{fn,x}$

在试验空间内某个位置 x 处产生 1 V/m 的电场强度所需的前向功率。

注:归一化前向功率的单位为瓦(W)。

3.10

极化 polarization

线极化辐射场的电场矢量方向。

3.11

参考距离 reference distance

d_{ref}

规定限值的对应距离。

3.12

试验空间 test volume

FAR 中可以放置 EUT 及其(连接)电缆的最大空间。

注：更详细的内容见第 6 章。

3.13

确认 validation

证明最终所使用的仪器和控制系统(硬件、软件)符合所有功能、性能和接口要求的过程。

[GB/T 2900.82—2008, 定义 394-40-42]

3.14

确认距离 validation distance

d_{val}

试验场地确认/校准时的距离,即从发射天线/接收天线的参考点沿测量轴线至试验空间最近点之间的距离。

4 应用 FAR 测量的被测量

4.1 辐射抗扰度试验的被测量

大部分电子设备在使用中都承受着不同程度的电磁辐射。这种辐射通常是由一般用途的辐射源发射产生的,例如,操作、维修和安保人员所使用的小型手持无线电收发信机、固定电台、广播和电视发射机、车载无线电发射机以及各种工业电磁辐射源等。

在本部分所涉及的频率范围内,并非全都满足远场条件(例如,在较低的频率),因此在本部分中采用“电场强度”来定义模拟真实电磁现象的骚扰量。

规定(载波的)电场强度作为抗扰度试验用于建立预期骚扰量的被测量,其可以通过在 d_{mea} 上的系统平均转换系数 $\bar{C}_{\text{ab}}$ 来确定。该被测量的量值应分别通过水平极化和垂直极化测量来获得。

4.2 辐射发射测量的被测量

FAR 中辐射发射测量的被测量是指 EUT 辐射的场强值,该场强值是通过线极化天线在距离 EUT d_{mea} 的位置上、从测量接收机上测得的最大电压值,然后通过系统平均转换系数 $\bar{C}_{\text{ab}}$ 计算得到的。此被测量应通过接收天线的水平极化和垂直极化测量得到,并将结果归一化到产品标准所规定的参考距离 d_{ref} 上。

5 FAR 场地确认/校准程序

5.1 概述

本章规定了进行辐射发射和辐射抗扰度测量的 FAR 的性能要求和(协调一致的)确认程序。

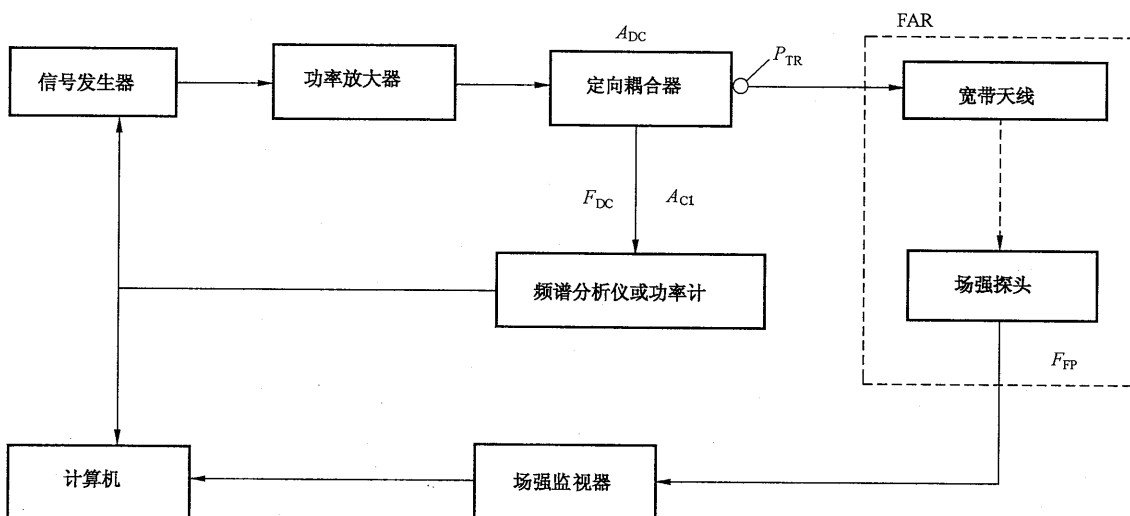
5.2 FAR 场地确认/校准的配置

图 1~图 4 给出了场地确认/校准程序中可供选择的配置框图。每个配置中都有一个转换参考点(P_{TR}),该转换参考点处的系统平均转换系数由确认程序(见 5.4)确定。

下面罗列了所有配置类型中必备的测量仪器和测量辅助设备,并对其布置和要求做了简要的说明:

- 类型 1(图 1):信号发生器、频谱分析仪或功率计、场强探头;
- 类型 2(图 2):信号发生器、频谱分析仪或功率计、参考天线;
- 类型 3(图 3):网络分析仪、参考天线;

- 类型 4(图 4):网络分析仪、功率放大器、参考天线。



说明:

A_{C1} ——定向耦合器与频谱分析仪或功率计之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

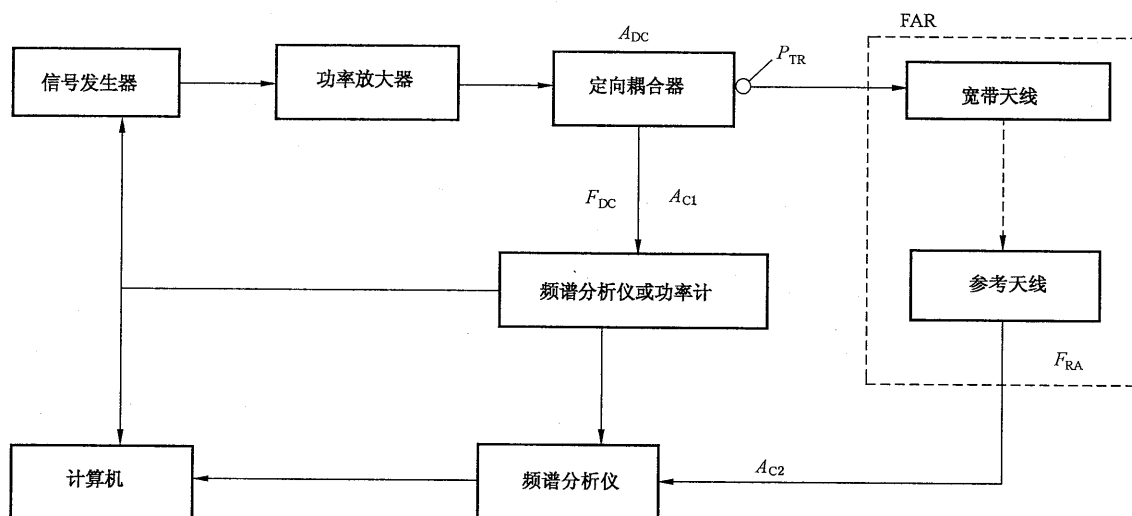
F_{FP} ——场强探头的校准因子(线性刻度);

A_{DC} ——定向耦合器的功率输入和功率输出之间的衰减,单位为分贝(dB);

F_{DC} ——定向耦合器的功率输入和前向功率输出之间的耦合损耗,单位为分贝(dB);

P_{TR} ——转换参考点。

图 1 类型 1 的确认/校准框图



说明:

A_{C1} ——定向耦合器和频谱分析仪或功率计之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

A_{C2} ——参考天线和频谱分析仪之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

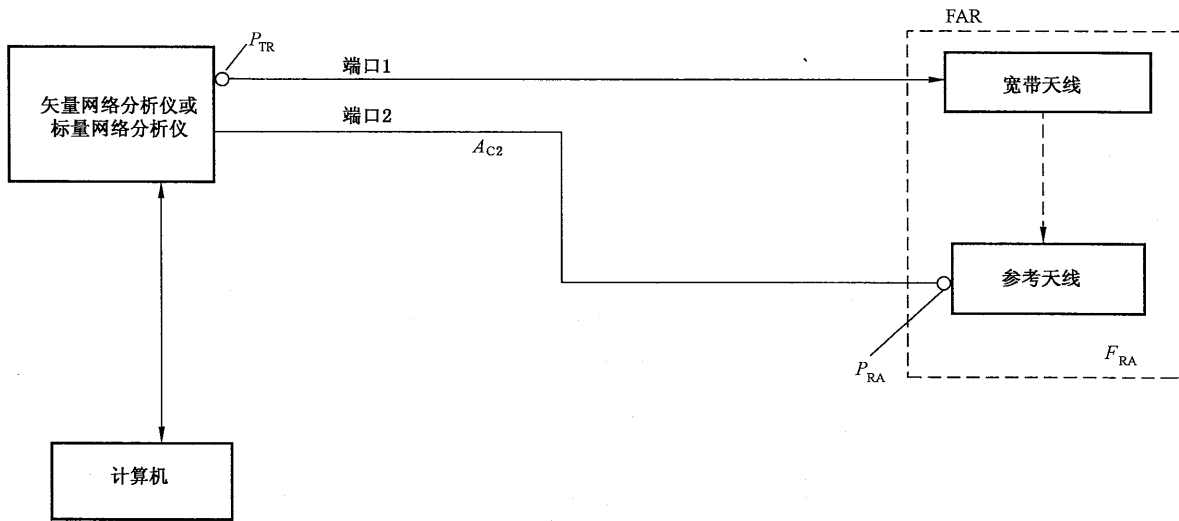
F_{RA} ——参考天线的天线系数,单位为分贝每米(dB/m);

A_{DC} ——定向耦合器的功率输入和功率输出之间的衰减,单位为分贝(dB);

F_{DC} ——定向耦合器的功率输入和前向功率输出之间的耦合损耗,单位为分贝(dB);

P_{TR} ——转换参考点。

图 2 类型 2 的确认/校准框图



说明:

F_{RA} ——参考天线的天线系数,单位为分贝每米(dB/m);

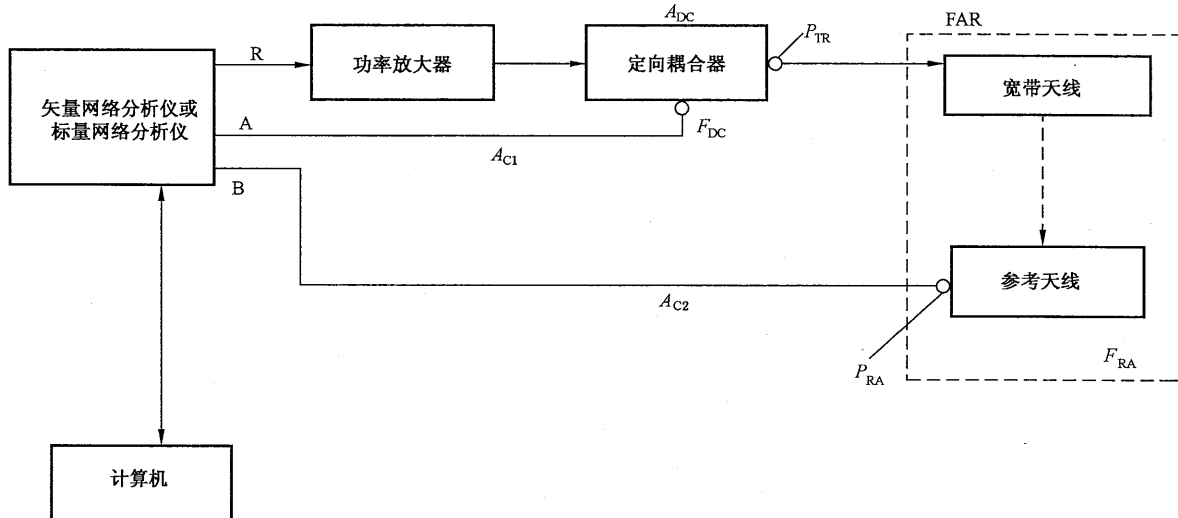
A_{C2} ——参考天线和网络分析仪之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

P_{RA} ——参考天线的参考点;

P_{TR} ——转换参考点。

注:作为一种选择,参考天线和网络分析仪之间的电缆衰减可以通过网络分析仪的归一化确定(将 p_{TR} 和 p_{RA} 连在一起以便归一化)。

图3 类型3的确认/校准框图



说明:

A_{C1} ——定向耦合器与矢量或标量网络分析仪之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

A_{C2} ——参考天线与矢量或标量网络分析仪之间的电缆衰减,单位为分贝(dB);

F_{RA} ——参考天线的天线系数,单位为分贝每米(dB/m);

A_{DC} ——定向耦合器的功率输入和功率输出之间的衰减,单位为分贝(dB);

F_{DC} ——定向耦合器的功率输入与前向功率输出之间的耦合损耗,单位为分贝(dB);

P_{TR} ——转换参考点;

P_{RA} ——参考天线的参考点;

R、A、B——网络分析仪的端口——输出端口 R、输入端口 A 和 B。

图4 类型4的确认/校准框图

下列组成部分(仪器设备和设施)构成 FAR 确认配置中的一部分。表 1 汇总了针对不同类型 FAR 确认时的最基本的配置:

a) FAR:应根据图 5(见 5.5)和 3.12、3.14 事先确定试验空间和确认距离。

b) 宽带天线:宽带天线在 FAR 中的位置是固定不变的。

注 1: 该天线系数是作为 FAR 测试系统转换系数的一部分在确认/校准过程中来确定的,因此通常不需要使用天线附带的天线系数。

c) 射频功率计、选频电压表或频谱分析仪。

d) 定向耦合器。

e) 全向场强探头和监视器。

f) 参考天线:在 30 MHz~1 GHz 频率范围,参考天线应符合 GB/T 6113.104—2016 中 4.5 的规范要求;在 1 GHz~18 GHz 频率范围,参考天线应符合 GB/T 6113.104—2016 中 8.3.3.1 的技术参数要求。

g) 宽带天线的连接电缆:在安装时,应确保与宽带天线相连的电缆走向保持不变。

注 2: 与宽带天线相连的电缆损耗是作为 FAR 测试系统转换因子一部分在 FAR 确认/校准时确定的。

注 3: 通常建议将与宽带天线相连的电缆从宽带天线到后墙上的吸波材料之间沿水平方向延伸铺设,然后紧靠着吸波材料垂直到地铺设。这种铺设方法会将电缆的影响降至最低。

h) 其他射频电缆:应在试验之前的场地确认/校准中确定其他射频电缆的特性。若 FAR 校准所用电缆和后续试验所用电缆不同,则需分别确定其特性。

i) 信号源:能够产生稳定信号的射频信号发生器。

j) 功率放大器:在 FAR 确认/校准和抗扰度试验过程中[见 5.2 c)和 d)]应监控放大器的输出功率。见附录 A 中有关谐波和压缩特性方面的考虑。

k) 标量或矢量网络分析仪:该仪器用于测量在两点之间的传递函数(S_{21})或两个信号(没有桥接器)之比。

表 1 不同类型配置所必备的基本测量仪器

测量设备和辅助测量设备 ^a	确认配置 ^b			
	类型 1	类型 2	类型 3	类型 4
a) 全电波暗室(FAR)	×	×	×	×
b) 宽带天线	×	×	×	×
c) 射频功率计	×	×	—	—
d) 定向耦合器	×	×	—	×
e) 全向场强探头和监视器	×	—	—	—
f) 参考天线	—	×	×	×
g) 与宽带天线相连的电缆	×	×	×	×
h) 其他射频电缆	×	×	×	×
i) 信号源	×	×	—	—
j) 功率放大器	×	×	—	×
k) 标量或矢量网络分析仪	—	—	×	×
^a 设备对应的字母编号与 5.2 中的编号顺序一一对应。				
^b “×”表示该组成部分是必备的;“—”表示不需要。				

5.3 试验设备和设施的基本特性

5.3.1 概述

为了实现对 FAR 的确认,应对 5.3.2~5.3.8 所涉及的技术参数做出规定,并在场地确认报告中使用时文字和照片给予清晰的描述。

5.3.2 试验空间

试验空间是一个能容纳包括 EUT 附属电缆在内的 EUT 最大尺寸的一个圆柱体,如第 6 章所述。宜明确试验空间的参数:试验空间的直径、底面的中心位置和高度。

5.3.3 宽带天线

宽带天线应位于 FAR 内试验空间外的一个固定位置上。通常将宽带天线的高度设定在与试验空间的中心(高度之半)相同的高度处。将宽带天线用作发射测量的接收天线和确认/校准测试以及后续的抗扰度试验的发射天线。应针对用于抗扰度试验或发射测量的每一套天线(例如,分别覆盖各个频段)实施确认/校准程序。

5.3.4 天线的连接电缆

来自于天线连接电缆的反射会影响 FAR 的测试结果,因此,宜仔细考虑针对这些连接电缆的设计和铺设路径。在 FAR 确认过程中,FAR 内铺设的天线连接电缆的长度以及该电缆与宽带天线之间的连接走向应与后续在该 FAR 内进行 EUT 测试时的布置方式相一致。不仅场地确认时应在天线连接电缆上加装铁氧体,而且在随后的 EUT 测试时也应做同样的处理。

5.3.5 试验台/桌

推荐用绝缘、低介电常数的材料制作试验台。被设计用于放置在试验空间内且可移动的试验台,在按照 5.6 对 FAR 进行场地确认时无需放入。放在试验空间外且始终用于 EUT 测试的试验台应视为 FAR 设施的一部分,在按 5.6 的确认程序实施过程中应放置其位。

5.3.6 转台

推荐的最小配置包含一个位于试验空间中的遥控转台。在实施 FAR 的确认/校准过程中,转台、典型位置处的电力馈电电缆和通信电缆布局方式应与 EUT 测试时相一致。

5.3.7 天线极化自动变换器

推荐使用电脑控制的、能自动变换天线极化方向的自动变换器,以减少测试时间。

5.3.8 吸波材料布置

在进行 FAR 场地确认时,吸波材料的布置方式需与随后的 EUT 测试时的吸波材料的布置方式相一致。

5.4 FAR 确认程序所确定的量的定义

FAR 确认程序的每个采样位置上要确定的量如本条所述。单个位置 x 上的系统转换系数 $C_{dB,x}$ 由式(1)给出:

$$C_{dB,x} = 20\lg(f_{MHz}) - 15 - 10\lg\left(\frac{d_x^2}{P_{fn,x}}\right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$C_{dB,x}$ ——某个位置 x 上的系统转换系数,单位为分贝每米(dB/m);

f_{MHz} ——频率,单位为兆赫兹(MHz);

d_x ——宽带天线的参考点与场强探头之间或与参考天线的参考点之间的距离,单位为米(m)(更多详细信息见 5.5);

$P_{fn,x}$ ——归一化前向功率,单位为瓦特(W),由式(2)给出:

$$P_{fn,x} = \frac{P_{f,x}}{E_x^2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$P_{f,x}$ ——转换参考点 P_{TR} 处的前向功率,单位为瓦(W);

E_x ——位置 x 处对应的电场强度,单位为伏每米(V/m)。

注:附录 C 给出了式(1)和式(2)所示关系的背景资料和基本原理。

根据单个的系统转换系数 $C_{dB,x}$,利用式(3)能够得到系统平均转换系数 $\bar{C}_{dB}$ (见 3.3):

$$\bar{C}_{dB} = \sum_{x=1}^n \frac{C_{dB,x}}{n} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

n ——取样点数,依据 5.5 的程序确定。

针对天线的水平和垂直极化方式,分别用式(4)计算出所采集到的样本的标准偏差,以与 5.7 规定的确认准则做比较。

$$s_{dB,C} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{x=1}^n (C_{dB,x} - \bar{C}_{dB})^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

对每一种天线极化方式,用式(5)计算出系统平均转换系数的标准偏差 $s_{dB,\bar{C}}$ 。这个量对后续 EUT 测试的不确定度评定很重要[参见附录 D 中 D.1.3 的 8)和附录 D 中 D.2.4 的 9)]。

$$s_{dB,\bar{C}} = \frac{s_{dB,C}}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

5.5 FAR 确认时的取样位置

对于本条描述的程序,FAR 的特性是分别针对每种天线极化(水平和垂直)、在试验空间中的多个位置上测量得到的,其结果用系统平均转换系数和标准偏差(见 5.4)来表示。

应针对水平和垂直两种天线极化在如下的位置处进行 FAR 测量和确认(见图 5):

a) 在试验空间的底部、中间和顶部 3 个高度上:

- 1) 底部测量位置的高度 h_B ,位于从底部算起的试验空间高度的 25%处;当试验空间高度小于 80 cm 时,底部的高度应至少是 20 cm,当试验空间高度超过 2 m 时,底部的高度应是 50 cm;
- 2) 顶部的高度 h_T ,位于从顶部算起的试验空间高度的 25%处,当试验空间高度小于 80 cm 时,顶部的高度至少是 20 cm,当试验空间高度超过 2 m 时,顶部的高度应是 50 cm;
- 3) 中间的高度,位于试验空间高度的 50%处。

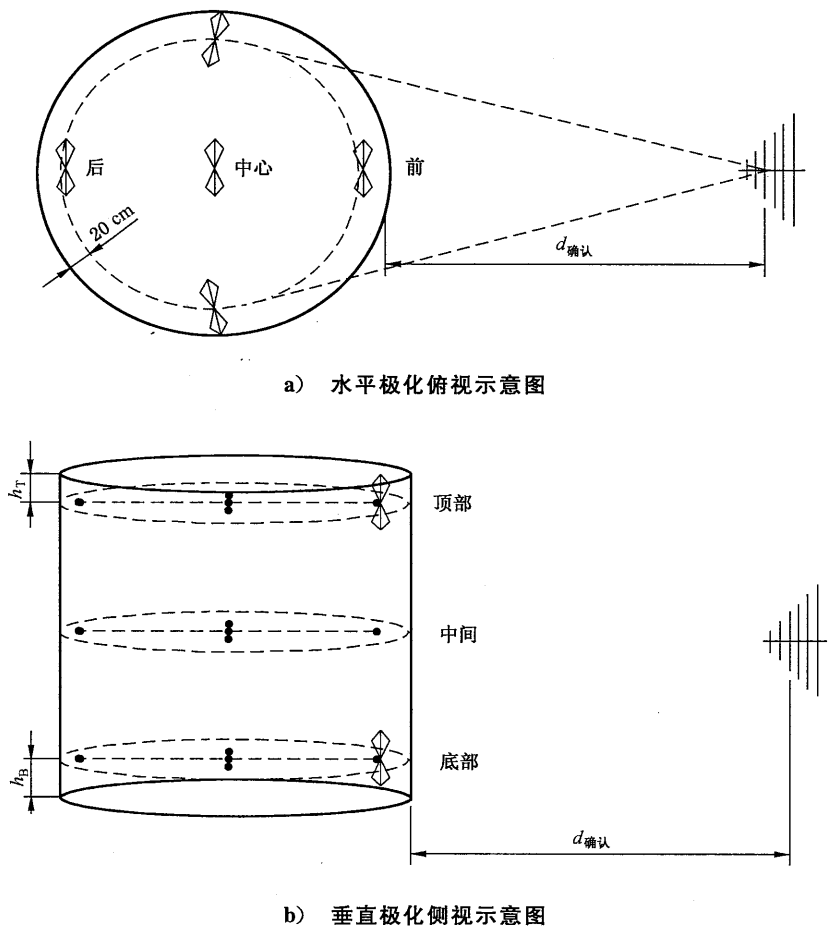
b) 所有 3 个水平面内的 5 个位置:即每个水平面内的中、左、右、前和后部。

如图 5 所示,应将试验空间外的宽带天线的高度设定在与试验空间的中心相同的高度上。宽带天线不应倾斜,即宽带天线的基准轴线应保持与所有测量中的主测量轴线对齐。应将位于试验空间内的场强探头或参考天线正对着或斜对着宽带天线。(确认/校准期间的)宽带天线的位置(包括高度)应与

将来用于设备测试时的(宽带天线的)位置相同。

宽带天线的参考点和试验空间的前端位置之间的距离为 d_{val} 。在确认期间,天线塔和支撑地板或支撑结构应各就各位。注意,仅场强探头或参考天线在本程序规定的试验空间内的多个位置处上被移动——确认期间宽带天线固定不动,因此,宽带天线和每个取样点之间的实际间隔距离 d_x 将随取样位置而改变。注意,应记录每个取样位置上的实际的 d_x ,然后代入式(1)。

取样位置确保参考天线的相位中心或场强探头总是位于试验空间周界内至少 20 cm 处。



注 1: 5.5 中描述了这些参数,用实线形成的圆柱体表示试验空间。

注 2: 在测试过程中,试验空间内位于左右两侧或上下位置的场强探头或参考天线需要作旋转,确保其主瓣对准试验空间外的宽带天线上靠近几何中心的参考点。

图 5 用于 FAR 确认的取样点的位置示意图

5.6 FAR 确认程序

5.6.1 概述

按图 1、图 2、图 3 或图 4 所示配置测量设备。将场强探头或参考天线放在图 5 所示的其中之一的位置上,将宽带天线设定为水平极化。

在 5.6.2~5.6.5 中详细说明了 5.2 描述的 4 种配置类型在进行 FAR 确认时的具体步骤。在 5.6.6 中给出了系统平均转换系数和标准偏差的计算方法。

5.6.2 配置类型 1 的确认

当采用类型 1 的确认配置时,应按下述步骤进行:

- 将场强探头设定为单轴模式,以便测量相应的极化。
- 将信号源设定到所关注的第一个频率。
- 将信号发生器或放大器的输出功率设定到一个固定连续波电平,该连续波电平会给出一个适宜的确认场强 E_x 。确认结果与绝对场强和/或功率电平无关。

注 1: 信号发生器和/或放大器应工作在其最大输出电平以下,以限制谐波可能对测量结果造成的影响。

- 记录下面的参数值:

- 功率计测量点处的指示功率 $P_{f,ind,x}$,单位为分贝毫瓦(dBm);
- 由场强探头得到的指示场强 $E_{ind,x}$,单位为伏每米(V/m);
- 宽带天线与场强探头之间的距离 d_x 。

- 步进频率的增量不超过 1%,重复步骤 c) 和 d) 至最后一个频率。

- 针对位置 x 和每一个频率,使用式(6)计算系统转换系数:

$$C_{dB,x} = 20\lg(f_{MHz}) - 15 - 20\lg(d_x) + P_{f,ind,x} - 30 + A_{Cl} + F_{DC} - A_{DC} - 20\lg(F_{FP} \times E_{ind,x}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

注 2: 图 1 中定义了上述参数。

- 对每个取样位置重复步骤 a)~f)。
- 对垂直极化重复步骤 a)~g)。

5.6.3 配置类型 2 的确认

当采用类型 2 的确认配置时,应按下述步骤进行:

- 将信号发生器设定到所关注的第一个频率;将信号发生器或放大器的输出功率设定到一个固定连续波电平,该连波电平会给出一个适宜的确认场强 E_x 。确认结果与绝对场强和/或功率电平无关。

注 1: 信号发生器和/或放大器应工作在最大输出电平以下,以限制谐波可能对测量结果造成的影响。

- 记录下面的参数值:

- 功率计显示的功率 $P_{f,ind,x}$,单位为分贝毫瓦(dBm);
- 由频谱分析仪得到的指示电压 $V_{ind,x}$,单位为分贝微伏[dB(μ V)];
- 宽带天线和参考天线之间的距离 d_x 。

- 频率步进的增量不超过 1%,重复步骤 a) 和 b) 至最后一个频率。

- 针对位置 x 和每一个频率,使用式(7)计算系统转换系数:

$$C_{dB,x} = 20\lg(f_{MHz}) - 15 - 20\lg(d_x) + P_{f,ind,x} - 30 + A_{Cl} + F_{DC} - A_{DC} - E_{ind,x} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$$E_{ind,x} = V_{ind,x} + A_{C2} + F_{RA} - 120 \quad \dots\dots\dots(8)$$

注 2: 图 2 中定义了上述参数。

- 对每个取样位置重复步骤 a)~d)。
- 对垂直极化重复步骤 a)~e)。

5.6.4 配置类型 3 的确认

当采用类型 3 的确认配置时,应按下述步骤进行:

- 在测量之前,进行网络分析仪的归一化操作。
- 设定网络分析仪的起始和终止频率。频率步进应为:

- 30 MHz~80 MHz: $f_{\text{step}} \leq 1 \text{ MHz}$;
 - 80 MHz~500 MHz: $f_{\text{step}} \leq 2 \text{ MHz}$;
 - 500 MHz~1 GHz: $f_{\text{step}} \leq 5 \text{ MHz}$;
 - 1 GHz~18 GHz: $f_{\text{step}} \leq 50 \text{ MHz}$ 。
- c) 测量并记录 $S_{21,x}$, 单位为分贝 (dB)。
- d) 针对位置 x 和每一个频率, 使用式(9)计算系统转换系数:
- $$C_{\text{dB},x} = 20\lg(f_{\text{MHz}}) - 32 - 20\lg(d_x) - S_{21,x} - A_{\text{C2}} - F_{\text{RA}} \dots\dots\dots (9)$$
- 注: 图 3 中定义了上述参数。
- e) 对每个取样位置重复步骤 a)~d)。
- f) 对垂直极化重复步骤 a)~e)。

5.6.5 配置类型 4 的确认

- 当采用类型 4 的确认配置时, 应按下述步骤进行:
- a) 在测量之前, 进行网络分析仪的归一化操作。
- b) 设定网络分析仪的起始和终止频率。频率步进应为:
- 30 MHz~80 MHz: $f_{\text{step}} \leq 1 \text{ MHz}$;
 - 80 MHz~500 MHz: $f_{\text{step}} \leq 2 \text{ MHz}$;
 - 500 MHz~1 GHz: $f_{\text{step}} \leq 5 \text{ MHz}$;
 - 1 GHz~18 GHz: $f_{\text{step}} \leq 50 \text{ MHz}$ 。
- c) 调整网络分析仪的输出功率以便获得适宜的确认证场强 E_x 。确认结果与绝对场强和/或功率电平无关。
- d) 测量和记录信号比 B/A($R_{\text{BA},x}$, dB)。
- e) 针对位置 x 和每一个频率, 使用式(10)计算系统转换系数:
- $$C_{\text{dB},x} = 20\lg(f_{\text{MHz}}) - 32 - 20\lg(d_x) - R_{\text{BA},x} + A_{\text{C1}} + F_{\text{DC}} - A_{\text{DC}} - A_{\text{C2}} - F_{\text{RA}} \dots\dots\dots (10)$$
- 注: 图 4 中定义了上述参数。
- f) 对每个取样位置重复步骤 a)~e)。
- g) 对垂直极化重复步骤 a)~f)。

5.6.6 所有配置类型的 $\bar{C}_{\text{dB}}$ 和 $s_{\text{dB},C}$ 的计算

对每种极化和每个频率, 使用式(3)计算系统平均转换系数, 使用式(4)计算采集到的取样点的标准偏差。

5.7 确认要求

FAR 确认要求是基于取样得到的系统转换系数的标准偏差。每种极化的标准偏差 $s_{\text{dB},C}$ 应满足表 2 给出的 FAR 确认准则。

表 2 FAR 确认准则

频率范围	确认准则
30 MHz~1 GHz	对所有 15 个取样点, $s_{\text{dB},C} \leq 1.8 \text{ dB}$
1 GHz~18 GHz	对所有 15 个取样点, $s_{\text{dB},C} \leq 1.8 \text{ dB}$ 或同时满足: 对所有 15 个取样点: $s_{\text{dB},C} \leq 3 \text{ dB}$ 且对试验空间顶层和中间平面的 10 个取样点, $s_{\text{dB},C} \leq 1.8 \text{ dB}$

如果 FAR 确认时所采用的系统配置与后续进行的 EUT 测试保持一致, 则该确认结果有效。因此, 应详细记录确认配置(天线、吸波材料布置、电缆等)的有关信息。

6 试验布置

试验时,EUT 的配置应尽可能按其典型、实际最终运行条件来进行。除非另有说明,应按制造商的规定来布置电缆和连接线,且应将设备放置在其壳体(或机箱)内并盖上所有盖板和维修面板。相对于 EUT 正常运行条件的任何偏离应在试验报告中完整地说明。如果可以,应优先按制造商的说明书布置 EUT。应在试验报告中记录试验布置。

如果 EUT 全部置于试验空间内,且电缆布线满足下列要求,则对台式设备或落地式设备的试验布置桌的高度没有限制。

- a) 宜将接口电缆、负载和装置与 EUT 每一种类型的接口端口中的至少一个端口相连,实际连接时,每根电缆应端接实际使用的典型装置。如果同一类型有多个端口,那么应将典型数量的端口连接至装置或负载。如果,例如在预试验时表明,增加端口连接不会明显增加骚扰电平(不超过 2 dB)或明显降低抗扰度水平,那么只连接一个负载就够了。有关端口配置和负载的理由应记录在试验报告中。

电缆增加的数量宜受到以下条件的限制:再增加电缆时不会使相对于限值的裕量低于 2 dB。

注 1: 在某些情况下,发射和抗扰度试验的特性、负载、接口类型、电缆的最佳配置是不同的,这可能导致需要在统一的 EUT 布置的基础上,对 EUT 进行再配置。

电缆的布置和端接应遵循下列要求:

- 1) 当制造商的安装说明中有规定详细电缆布置时,应根据安装要求布置电缆。如果没有规定或者可按一般要求布置,应确定电缆方向,以使得垂直极化和水平极化辐射不被排除在外。
- 2) 应规定电缆在试验空间内的走线最短长度为 1 m(除非制造商的规格说明书规定更短的电缆)。电缆的超长部分应在电缆的中心附近折叠后捆扎起来,折叠长度为 0.3 m~0.4 m。如果制造商没有提供关于正常使用时典型电缆布置的信息,则应采用如下布置:

——对于台式 EUT(见图 6 和图 7),离开试验空间的电缆(也就是连接 EUT 与“外部世界”的电缆)暴露在电磁场中的总长度应至少为 1 m。

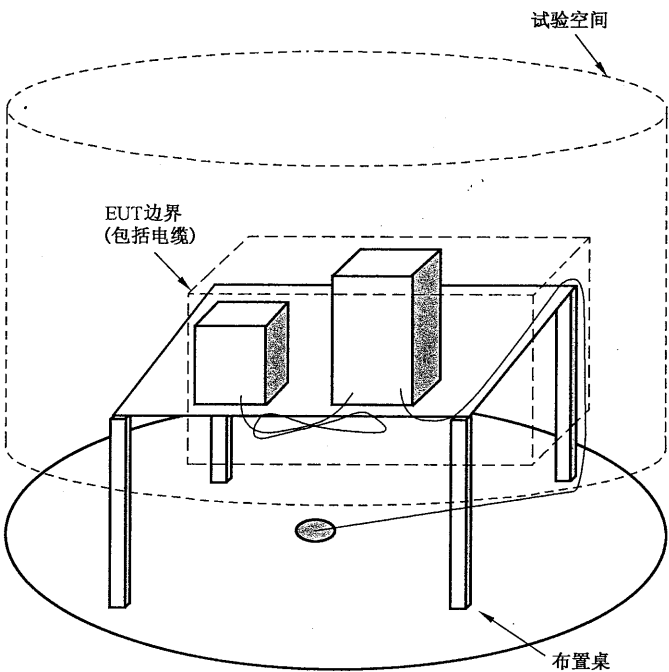


图 6 台式设备的试验布置示例

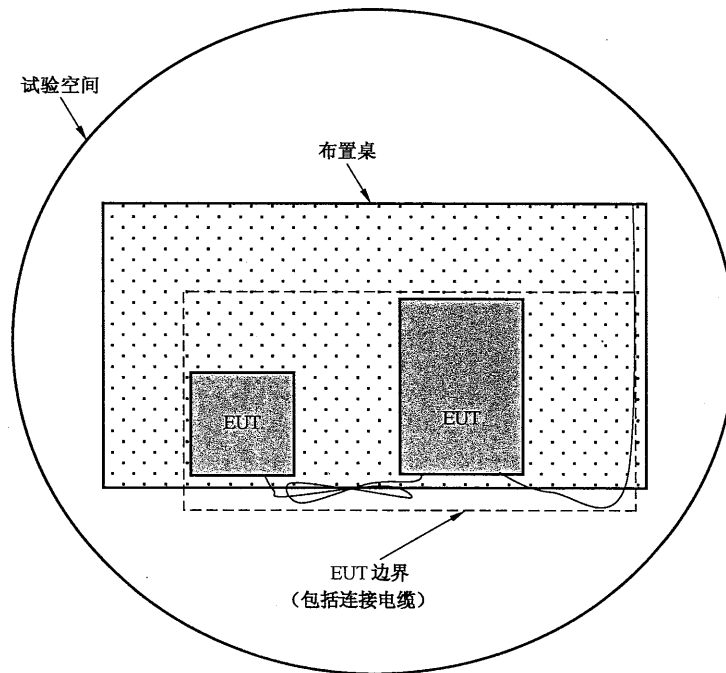


图7 台式设备的试验布置示例俯视图

——对于落地式 EUT(见图 8 和图 9), 离开试验空间的电缆, 在试验空间内其水平方向上的长度应至少为 0.3 m; 垂直方向上, 根据典型、正常的使用情况布置(取决于 I/O 端口高于试验空间底部的高度)。

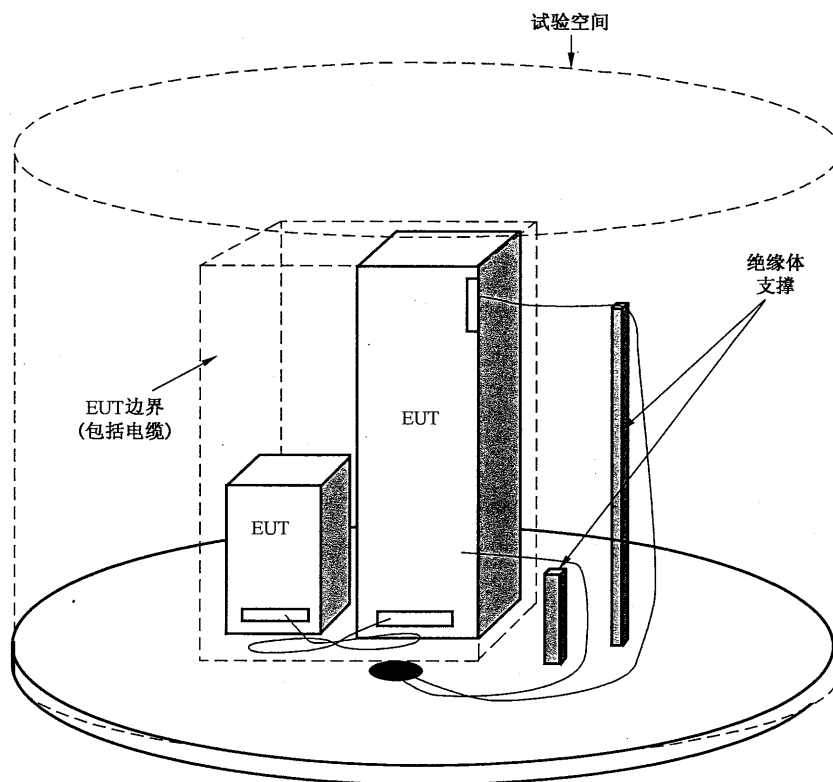


图8 落地式设备的试验布置示例

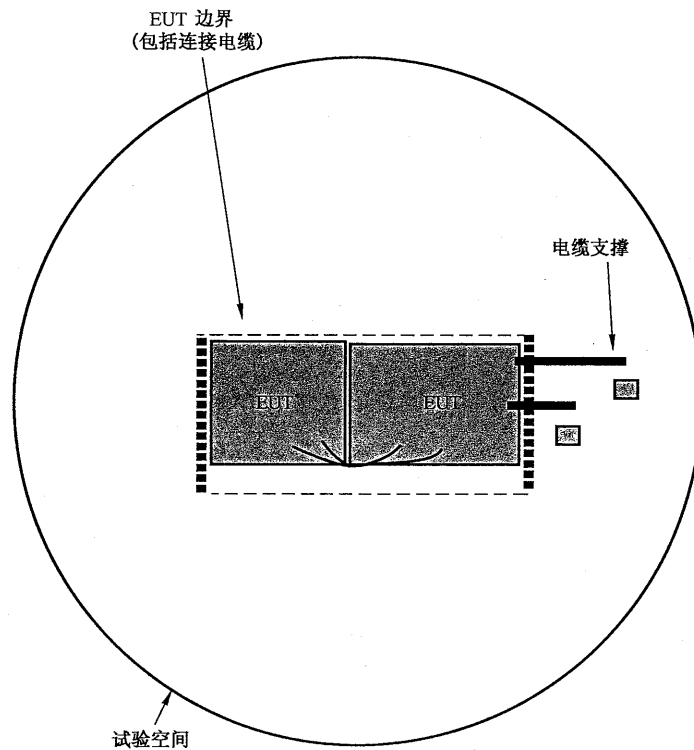


图9 落地式设备的试验布置示例俯视图

b) 未连接至其他装置的电缆可如下端接：

- 1) 同轴屏蔽电缆应端接同轴终端(通常为 $50\ \Omega$ 或 $75\ \Omega$)。
- 2) 含有一个以上内导体的屏蔽电缆,宜根据 EUT 制造商的规格说明书使用共模和差模终端负载。在合适的内导体之间使用差模终端负载,或在内导体和电缆屏蔽层之间使用共模终端负载。
- 3) 应根据制造商的规格说明书在非屏蔽电缆中使用差模终端负载。

c) EUT 的布置应考虑以下附加条款：

- 1) 如果 EUT 需要辅助设备(AE,见定义 3.2)才能正常工作,应注意确保 AE 不会影响辐射发射测量和辐射抗扰度试验。如果试验时可以通过 FAR 屏蔽壳体的接口恰当连接,AE 可放置在 FAR 之外。可能有必要采取措施防止 RF 信号通过互连电缆从外部进入 FAR 或从 FAR 泄漏出去。

注 2: 模拟电信网络的装置就是 AE 的一个示例。AE 可物理上置于试验环境之外。

- 2) 为抑制来自 AE 的无用发射的其他措施或设备应置于试验室之外。
- 3) 试验布置包括电缆布置、连接电缆和终端的规格、抑制试验空间以外的辅助设备发射的其他措施,应在试验报告中给予清楚地描述。
- 4) EUT 部件之间的外缘连线构成的 EUT 边界位于满足确认要求的试验空间内。EUT 边界应包含 EUT 部件之间的连接电缆,但离开试验空间的电缆不应考虑为 EUT 边界的一部分。离开试验空间的电缆应满足本条提出的布置要求。

附录 A

(规范性附录)

辐射抗扰度试验

A.1 概述

本附录描述了在 FAR 中进行辐射抗扰度试验的程序。

A.2 试验设备

图 1 和图 2(见 5.2)示出了抗扰度试验的测试设备。对抗扰度试验来说,场强探头或者参考天线不是一定要的。其具体性能/参数要求如下:

- RF 信号发生器:能够覆盖所需的频率范围,并能被 1 kHz 正弦波调幅,调制深度 80%,或者具有产品标准规定的调制方式。
- 功率放大器:用来放大(已调制和未调制的)信号和驱动天线以输出所需的场强电平。在 FAR 中测得由功率放大器产生的各次谐波频率下的场强应比基波场强至少低 6 dB。
- EMC 滤波器:为避免谐波引起的问题,在功率放大器和定向耦合器之间可加入滤波器。应注意确保此滤波器的加入不会在连接线上产生额外的谐振效应。
- 定向耦合器:用来测量输入天线的前向功率和来自天线的反向功率。通常情况下,确认/校准和抗扰度试验只用到前向功率。然而,通过测量反向功率来检测与天线的连接是否失配或不良还是很有意义的。
- 功率计或频谱分析仪:与定向耦合器连接,用于测量前向功率和反向功率。
- 宽带天线:能够满足频率要求的双锥天线、对数周期天线、喇叭天线或者任何其他线极化天线系统。

在试验过程中,应使用额外的设备来监测 EUT。适合的监测设备包括:

- 视频系统;
- 麦克风系统;
- 电压和(或)电流探头;
- 数字信号探头(例如 RS232、RS485、CAN、以太网)。

应注意确保监测设备不受 FAR 中产生的电磁场的影响,且不会影响 EUT 的工作。在信号传输中,强烈推荐使用光纤或者具有足够共模 RF 去耦的电缆。如果可能,监测设备最好放在 FAR 外。

A.3 饱和的快速检查程序

应执行快速检查程序来确定放大器是否处于足够低的饱和状态。在确认程序中,应至少执行一次该检查程序:

注:仅最高试验等级需执行此检查程序。

- a) 按图 1 或图 2(见 5.2)进行抗扰度试验布置,从宽带天线的水平极化开始;
- b) 将信号发生器设置到起始试验频率;
- c) 根据系统平均转换系数,计算所需的前向功率 $P_{f,t,dBm}$ (在转换参考点上),见式(A.1):

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20\lg(E_t) + 20\lg(d_{\text{measurement}}) - 20\lg(f_{\text{MHz}}) + \overline{C}_{dB} \quad \dots\dots (A.1)$$

式中:

E_t —— 抗扰度试验中预期的试验等级的场强,单位为伏每米(V/m);

$d_{\text{measurement}}$ —— 宽带天线参考点和离 EUT 最近面之间的距离(见图 A.1),单位为米(m);

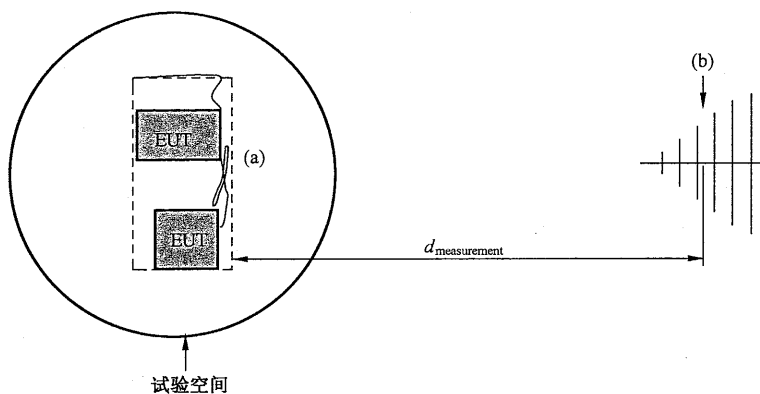
f_{MHz} —— 频率,单位为兆赫兹(MHz);

$\overline{C}_{\text{dB}}$ —— FAR 确认程序确定的系统平均转换系数,单位为分贝每米(dB/m)。

前向功率为注入到转换参考点(P_{TR} ,见图 1 和图 2)的功率。调整注入功率时,需要考虑电缆的衰减和定向耦合器的耦合度等因素。

由于最小尺寸的 EUT(最大 d_{mea})所需要的前向功率最大,饱和度的检查应考虑到这种最恶劣的情况。

- d) 在一定允差范围内,设置 RF 发生器输出功率,直到功率计的读数等于步骤 c) 计算出的预期前向功率。典型的抗扰度试验控制软件可自动执行此步骤。
- e) 记录功率计读数。
- f) 将 RF 发生器的输出增大 5.1 dB(这是考虑到 80% AM 调制信号的峰值包络功率的增加)。
- g) 记录功率计读数,确定与步骤 e) 中功率计读数的差值。如果差值在 3.1 dB~7.1 dB 之间,则放大器的饱和度可以接受;如果差值小于 3.1 dB 或者大于 7.1 dB,则放大器不适用于提供预期的试验场强。
- h) 频率以 1% 的步进增加,重复步骤 c)~g) 直到达到最终频率点。
- i) 将宽带天线改为垂直极化,重复步骤 b)~h)。



说明:

(a) —— EUT 边界的最近面,包括电缆;

(b) —— 宽带天线参考点。

图 A.1 抗扰度试验中 d_{mea} 的定义

A.4 试验程序

A.4.1 概述

试验应按试验计划进行,该试验计划应包含技术规范中规定的 EUT 的相关工作模式及其性能的验证方法。

EUT 应按照第 6 章的描述布置,并使其工作在试验计划中的一种工作模式下。

A.4.2 电平设置程序

所需的前向功率 $P_{f,t,dBm}$ (r.m.s., 载波, 在 P_{TR} 处) 用来产生试验场强 E_t 。在每个频点上, 应使用式 (A.2) 利用系统平均转换系数 $\overline{C}_{dB}$ 计算前向功率:

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20\lg(E_t) + 20\lg(d_{\text{measurement}}) - 20\lg(f_{\text{MHz}}) + \overline{C}_{dB} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$d_{\text{measurement}}$ —— 宽带天线的参考点与 EUT 最近面的距离。

控制设备应通过设置 RF 发生器, 使得在一定功率允差范围内达到计算出的前向功率。

注 1: 该功率的允差范围通常由测试工程师来决定。该决定需要折衷考虑不确定度 (参见附录 D) 与精确建立所需功率所用的时间。

通过旋转 EUT, 对 EUT 的 4 个侧面逐一进行试验。如果 EUT 可工作在其他方向, 那么试验面也应包括 EUT 的底部和顶部表面。

注 2: 如果 EUT 由多个部件组成, 由于试验已在 EUT 不同面分别进行, 那么不必改变 EUT 布置内每个部件的位置。

用调制信号 (1 kHz 正弦波 80% AM 调制, 或产品标准规定的调制方式) 在需要考虑的频率范围内进行扫频或扫描, 需要时可暂停以设置 RF 信号电平或切换信号发生器和天线。当按步进方式改变频率时, 步进应不超过前一频率值的 1%。

每个频率上调幅载波的驻留时间应不短于 EUT 动作及响应时间, 但任何时候不能短于 0.5 s。对敏感频率点 (例如时钟频率) 应按产品标准中的要求单独进行分析。

在天线垂直极化和水平极化时分别对 EUT 的每一个面进行试验。

如试验计划所述, 在试验过程中应尽可能使 EUT 充分运行, 并尽可能评价针对抗扰度试验选择的所有敏感运行模式。

建议使用专用的运行程序。这些程序 (或控制程序标识) 应记录在试验报告中。

A.4.3 试验计划

试验计划应在以下方面作出明确规定:

- a) EUT 的尺寸;
- b) EUT 的典型工作模式;
- c) 连接电缆的型号和数量, 以及需连接的 EUT 接口端口;
- d) 性能判据;
- e) EUT 监测方法;
- f) 频率范围、驻留时间和频率步长;
- g) 使用的试验等级。

A.4.4 试验结果的评价

试验结果应依据 EUT 的功能丧失或性能降级现象来进行分类, 相关的性能等级由设备的制造商或试验的委托方来确定, 或由产品的制造商和采购方双方商定。推荐的分类如下:

- a) 在制造商、委托方或采购方规定的技术规范允差内性能正常;
- b) 暂时的功能丧失或性能降低, 但在骚扰停止后 EUT 能自行恢复, 无需操作者干预;
- c) 暂时的功能丧失或性能降低, 但需操作者干预才能恢复;
- d) 因设备硬件或软件损坏、或数据丢失而造成不能恢复的功能丧失或性能降低。

制造商的技术规范可以说明对 EUT 产生的哪些影响是不重要的且可接受的。

在通用标准、产品标准或产品类标准不适用的情况下, 这种分类可以由负责通用标准、产品标准和

产品类标准的专业标准化技术委员会用作确定性能判据的指南,或供制造商和采购方协商性能判据做参照。

A.5 试验报告

试验报告应包括能重现试验的全部信息,特别是下列内容:

- A.4.3 要求的在试验计划中规定的内容;
- EUT 和 EUT 辅助设备的标识,例如商标、产品型号、序列号;
- 试验时所需的特定条件;
- 所采用的特殊条件,例如电缆长度或类型,屏蔽或接地状况,或 EUT 运行条件,均要符合规定;
- 有关电缆和设备的位置和方向的完整描述(可用试验布置照片来体现);
- 制造商、委托方或采购方规定的性能等级;
- 在通用标准、产品标准或产品类标准中规定的性能判据;
- 在施加试验骚扰信号期间和去除所施加的信号后所观察到的对 EUT 的影响,及该影响所持续的时间;
- 判定 EUT 测试结果的合格/不合格的声明以及做此判断的依据(根据通用标准、产品标准或产品类标准规定的性能判据或制造商和采购方达成的协议);
- 试验设备的标识,例如商标、产品型号、序列号;
- 特殊的试验环境条件。

附录 B
(规范性附录)
辐射发射测量

B.1 概述

本附录详细规定了 FAR 中的辐射发射测量方法。

B.2 试验设备

除了不需要使用功率放大器外,发射测量所使用的试验设备和设施为已按第 5 章确认程序确认的 FAR 试验系统。发射测量时使用的测量接收机应符合 GB/T 6113.101—2016。

下列设备是发射测量所必须的:

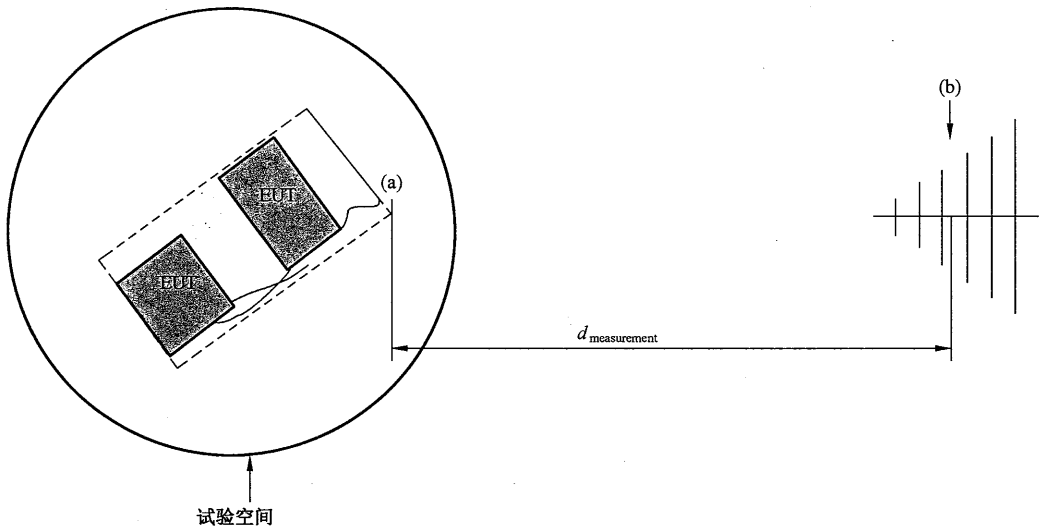
- 符合 GB/T 6113.101—2016 的频谱分析仪或测量接收机;
- 宽带天线、电缆及其敷设方式和 FAR 与确定系统平均转换系数 $\overline{C}_{dB}$ 时完全相同;

测量结果(场强)用式(B.1)计算:

$$E_{dB(\mu V/m)} = V_{P_{TR}, dB(\mu V)} + \overline{C}_{dB} + 20 \lg \left(\frac{d_{measurement}}{d_{reference}} \right) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- $V_{P_{TR}, dB(\mu V)}$ —— 转换参考点 P_{TR} (参见图 1、2、3 和 4) 处的电压,单位为分贝微伏[$dB(\mu V)$];
 $d_{measurement}$ —— 天线的参考点与 EUT 最近面(参见图 B.1)之间的距离;
 $d_{reference}$ —— 产品标准规定的测量距离。



- 说明:
- (a) —— 包括电缆在内,距 EUT 边缘最近的面;
 - (b) —— 宽带天线的参考点。

图 B.1 发射测量 d_{meat} 的定义

值得注意的是,系统平均转换系数包括了电缆损耗、天线系数,以及确认/校准过程中所确定的平均场地影响,但并未包括通用的发射/抗扰度的确认/校准时未使用过设备的损耗/增益。因此,如果使用了在确定 $\bar{C}_{dB}$ 时未使用过的电缆及敷设、开关以及发射测试时的宽带预放大器等,则需要对接收机的读数作进一步修正。

B.3 测试程序

B.3.1 初测程序

应通过初步测量来确定最终测量时所关注的频率点,B.3.2 规定了最终测量程序。初步测量也用来研判和寻找 EUT 不同工作模式和配置时的发射状态,以期获得最终测量时最大的发射状态。

注:实际中,所实施的初步扫描程序可能取决于 EUT 的特性,因此下述 a)~e)给出的内容不作为硬性要求,只是为初步测量程序的实施提供指导性的意见。下面给出了初步测量程序中如何确定关注频率点和寻找最大发射状态的指导性原则:

- a) 使用峰值检波和最大值保持模式在天线覆盖的整个频段内进行扫频或扫描。
- b) 确定合适的扫描或扫频时间以保证能够完成充分的信号截取。
- c) 如必要,在初步测试过程中可通过减小扫描的分辨率带宽来降低频谱仪或接收机的显示的噪声电平。需要指出,可能会因此人为减小了宽带发射的测量值;因此,可能有必要对发射类型为宽带或窄带进行甄别。
- d) 以连续或步进的方式在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 内旋转 EUT,然后在另一极化方向上重复此过程,以寻找到 EUT 最大发射所处的方位。
- e) 为进一步评估已确定的发射频率点,可采用更小的频率跨度并在接近限值幅值对应的频率点附近以更小的步进旋转转台(EUT)。

初步测量程序为筛选频率点和确定最大发射状态提供了基础。这一过程通常要求门限的设定要低于其适用的规范限值,然后在初步测量中等于及高于门限的那些频率点上进行最终测量。例如,如果初步测量程序得到的测量结果在最终测量结果的 10 dB 范围以内,那么距限值 10 dB 范围内的频率点都应进行最终测量。

B.3.2 最终测量程序

最终测量程序中,测量接收机应调谐至初步测量所确定的频率点上。最终测量在使测量接收机示值最大时的转台所处的方位上进行。

注:若被测信号本身为宽带信号、幅度波动或者不具备相当的频率稳定度,则应采用额外措施以保证能正确地捕获发射的最大幅度。对于最终测量,可能需要再次调谐测量接收机。

B.4 试验报告

试验报告应为能够重现辐射发射测量结果提供以下详细的信息:

- a) 初步测量程序中寻找到最大发射时的 EUT 配置和运行模式;
- b) 有关初步测量程序的描述;
- c) 用于筛选最终测量频率点所用的门限和程序;
- d) 有关最终测量程序的描述;
- e) 最终测量的试验报告应包括:
 - 1) 每一个要报告的辐射发射的频率和幅值;
 - 2) 所使用的检波器;

- 3) 适用的限值和检波器的类型;
 - 4) 测量每个辐射发射时转台所处的方位;
 - 5) 测量距离;
 - 6) 天线极化方向。
- f) 测得的最大发射电平,单位为分贝微伏每米[$\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$]。

附录 C

(资料性附录)

有关系统转换系数和一次性完成的发射确认/抗扰度校准方法的背景知识

C.1 辐射发射确认和抗扰度设施校准方法之间的关系

为了说明发射试验场地确认使用的传统归一化场地衰减(NSA)方法与参考文献[2]中“均匀面”校准方法的直接关系,可以根据参考文献[5]从NSA, A_N 的计算公式见式(C.1):

$$A_N = \frac{V_{\text{direct}}}{V_{\text{site}}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},1}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},2}} \quad \text{..... (C.1)}$$

式中:

A_N —— NSA;

V_{direct} —— 发射与接收用线缆直通时频谱分析仪或者测量接收机的电压;

V_{site} —— 天线发射时接收天线上的电压;

$F_{\text{Antenna},1}$ 和 $F_{\text{Antenna},2}$ —— NSA 测量所用天线的天线系数,应是已知的。

假设源、传输线和负载的阻抗相匹配,根据功率和电压的关系, V_{direct} 可用式(C.2)表示:

$$V_{\text{direct}} = \sqrt{P_F R_L} \quad \text{..... (C.2)}$$

式中:

P_F —— 校准位置处的前向功率;

R_L —— 频谱分析仪或测量接收机的阻抗,通常为 50 Ω 。

根据天线系数的定义, V_{site} 可用式(C.3)表示:

$$V_{\text{site}} = \frac{E}{F_{\text{Antenna},2}} \quad \text{..... (C.3)}$$

式中:

E —— 2 号天线(接收天线)处的电场强度,单位为伏每米(V/m);

$F_{\text{Antenna},2}$ —— 接收天线的自由空间天线系数。

将式(C.2)和式(C.3)代入式(C.1),可得:

$$A_N = \frac{\sqrt{P_F R_L}}{E/F_{\text{Antenna},2}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},1}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},2}} \quad \text{..... (C.4)}$$

可以看出,由于 $F_{\text{Antenna},2}$ 可以消掉,因此当可以得到前向功率和电场强度时,进行 NSA 测量时不需要采用已知的两个天线的天线系数。由此可见这是 IEC 61000-4-3(参考文献[2])中均匀面校准方法的基础。即,使用单独一个天线进行发射,测量 EUT 所处区域内形成的电场强度,并测量产生这个场所需的前向功率。如果需要,已知发射天线的天线系数($F_{\text{Antenna},1}$)、电场以及前向功率,可以直接利用式(C.4)得到 NSA。

C.2 系统增益和转换系数 C_{dB} 的确定

本部分推荐的一次性完成的发射确认/抗扰度校准方法,阐述了如果天线、试验设备和电缆一起被认为是自由空间测量系统,使用其得到的测量结果认为是理想自由空间中得到的结果,则不需要天线系数。

作为提出统一场地确认/校准方法的基础,将各向同性源的理想远场自由空间特性做为参照。值得

注意的是,研究 NSA 的理想短偶极子的辐射波瓣图与此非常类似。在这种情况下,电场 $E(\text{V/m})$ 和功率密度 $P_D(\text{W/m}^2)$ 的关系如下:

$$E^2 = P_D Z_0 \quad \dots\dots\dots (\text{C.5})$$

式中:

Z_0 ——自由空间的波阻抗,为 $120 \pi \Omega$ 。

各向同性的点源的功率密度和发射的前向功率 $P_F(\text{W})$ 之间的关系为:

$$P_D = \frac{P_F}{4\pi d^2} \quad \dots\dots\dots (\text{C.6})$$

式中:

d ——与源之间的距离,单位为米(m)。

根据增益的定义,相对各向同性天线增益为 G 的源产生的功率密度为:

$$P_D = \frac{P_F}{4\pi d^2} \times G \quad \dots\dots\dots (\text{C.7})$$

式中:

G ——功率增益。

将关于 P_D 的式(C.7)代入式(C.5),并转换为分贝值,就可以定义自由空间测量系统以确认/校准时监测前向功率 P_F 的馈电点为参考的系统增益 $G(\text{dBi})$ 。

$$G_{\text{dBi}} = 10 \lg \left(\frac{E^2 d^2}{30 P_F} \right) \quad \dots\dots\dots (\text{C.8})$$

本部分使用对应的系统转换系数 C_{dB} 可由系统增益计算(以 dB 的形式):

$$C_{\text{dB}} = 20 \lg(f_{\text{MHz}}) - 29.77 - G_{\text{dBi}} \quad \dots\dots\dots (\text{C.9})$$

注意上面的系统转换系数 C_{dB} 在用法上等同于式(C.3)中的天线系数,可用于将测量接收机或者频谱分析仪上的电压值转化成电场强度。因此,这种系统转换系数 C_{dB} 可以认为是一种新型的“天线系数”,其包括本部分 5.2 所规定的额外的 FAR 测量系统组件(例如馈电电缆)。

传统术语“天线系数”用于得到天线参考点上的场强值,因此,本部分建议使用 C_{dB} 表示由各向同性的增益 G_{dBi} 得到的系统转换系数[式(C.9)],以避免与制造商提供的、不包括额外 FAR 系统组件的天线系数相混淆。

参考文献[5、6、7]提供了从增益的计算式(C.8)推导出天线系数计算式(C.9)的更多的背景知识。

C.3 统计考虑

式(C.8)和式(C.9)给出了一个位置上的系统增益和转换系数。由于实际增益和转换系数可能在试验空间内有所变化,本部分采用由确认/校准程序确定的平均值。

在试验空间内的多个位置进行测量时,对距离变化进行修正后,理论上在所有位置上应得到相同的系统增益和转换系数。由于在试验空间内实际测量系统的结果有所不同,标准偏差与整个测量系统的性能密切相关。因此,本部分中的可接受准则以标准偏差 $s_{\text{dB},C}$ [见式(4)]为基础。然而,使用系统平均转换系数对不确定度的贡献取决于平均值的标准偏差 $s_{\text{dB},\bar{C}}$ [见式(5)]。因此,对于附录 D 中不确定度的评定示例,系统平均转换系数所引入的不确定度以 $s_{\text{dB},\bar{C}}$ 为基础进行评估。

附录 D
(资料性附录)
测量不确定度

D.1 发射测量的不确定度

D.1.1 影响因素

图 D.1 示出了场强测量不确定度评定时需考虑的影响因素的例子。

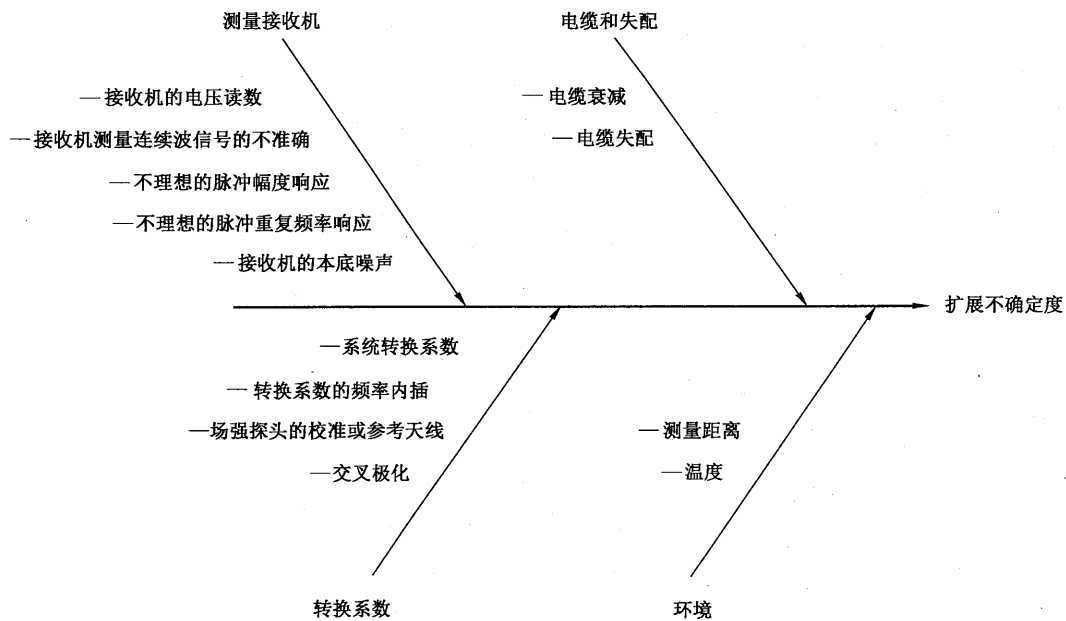


图 D.1 发射测量影响因素的例子

本条中给出的测量不确定度和不确定度评定仅作为例子。检测实验室可使用与图 D.1 所示影响因素对应的自身数值以及其他因素(如果适用时)。不确定度计算中使用的通用术语和概念的附加解释见参考文献[4]。

D.1.2 发射测量的不确定度评定

对于 FAR 中的测量,测量设备和设施的测量不确定度宜根据表 D.1 和表 D.2 所示例子进行评定; D.1.3 给出了表 D.1 和表 D.2 中使用的有关参数的描述。确认布置类型的描述见 5.2。

表 D.1 FAR 中 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的辐射发射测量的测量设备和设施的不确定度

输入量	x_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ 确认布置类型			
		dB	概率分布函数			1	2	3	4
测量接收机									
接收机的读数 (1)	V_r	0.10	$k=1$	0.10	1	0.01	0.01	0.01	0.01
正弦波电压 (2)	δV_{sw}	1.00	$k=2$	0.50	1	0.25	0.25	0.25	0.25
脉冲幅度响应 (3)	δV_{pa}	1.50	矩形	0.87	1	0.75	0.75	0.75	0.75
脉冲重复频率响应 (4)	δV_{pr}	1.50	矩形	0.87	1	0.75	0.75	0.75	0.75
本底噪声 (5)	δV_{nf}	0.50	$k=2$	0.25	1	0.06	0.06	0.06	0.06
电缆									
电缆衰减 (6)	L_c	0.30	$k=2$	0.15	1	0.02	0.02	0.02	0.02
失配:TRP-接收机(7)	δM	0.9/−1	U 形	0.67	1	0.45	0.45	0.45	0.45
系统转换系数									
系统平均转换系数(8)	C_{dB}	0.46	$k=1$	0.46	1	0.22	0.22	0.22	0.22
场强探头的校准 (9)	δF_{FP}	1.70	$k=2$	0.85	1	0.72	—	—	—
参考天线 (10)	δF_{RA}	1.00	$k=2$	0.50	1	—	0.25	0.25	0.25
电缆衰减:参考天线-接收机 (11)	δA_{C2}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	0.02	0.02	0.0−2
失配:参考天线-接收机/NA (12)	δM_{C2}	0.9/−1	U 形	0.67	1	—	0.45	0.45	0.45
与参考天线相连的接收机 (13)	δV_{ind}	1.00	矩形	0.58	1	—	0.33	—	—
频率内插 (14)	δC_f	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
定向耦合器:耦合因子 (15)	δF_{DC}	0.80	$k=2$	0.40	1	0.16	0.16	—	0.16
定向耦合器:插入损耗 (16)	δA_{DC}	0.60	$k=2$	0.30	1	0.09	0.09	—	0.09
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (17)	δA_{Cl}	0.30	$k=2$	0.15	1	0.02	0.02	—	0.02
失配:定向耦合器-功率计 (18)	δM_{Cl}	0.9/−1	U 形	0.67	1	0.45	0.45	—	0.45
频谱分析仪/功率计 (19)	δP_{ind}	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	—	—
网络分析仪 (20)	δS_{21}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	—	0.02	0.02
交叉极化 (21)	δA_{cp}	0.00	—	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
环境									
与天线的间隔距离(22)	δd_{meas}	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
注: 第一列括号中的编号注的说明见 D.1.3。 TRP:转换参考点。				—	u_c	2.06	2.14	1.82	2.01
				$k=1.64$	—	3.37	3.50	2.99	3.30
				$k=2$	—	4.11	4.27	3.64	4.02

表 D.2 FAR 中 1 GHz~18 GHz 频率范围的辐射发射测量的测量设备和设施的不确定度

输入量	x_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ 确认布置类型			
		dB	概率分 布函数			1	2	3	4
测量接收机									
接收机的读数 (1)	V_r	0.10	$k=1$	0.10	1	0.01	0.01	0.01	0.01
正弦波电压 (2)	δV_{sw}	1.50	$k=2$	0.75	1	0.56	0.56	0.56	0.56
本底噪声 (5)	δV_{nf}	0.70	$k=2$	0.35	1	0.12	0.12	0.12	0.12
电缆									
电缆衰减 (6)	$\delta L_{c,im}$	0.30	$k=2$	0.15	1	0.02	0.02	0.02	0.02
失配:TRP-接收机(7)	δM	1.3/−1.5	U 形	0.99	1	0.98	0.98	0.98	0.98
系统转换系数									
系统平均转换系数(8)	C_{dB}	0.77	$k=1$	0.77	1	0.60	0.60	0.60	0.60
场强探头的校准 (9)	δF_{FP}	1.70	$k=2$	0.85	1	0.72	—	—	—
参考天线 (10)	δF_{RA}	1.00	$k=2$	0.50	1	—	0.25	0.25	0.25
电缆衰减:参考天线-接收机 (11)	δA_{C2}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	0.02	0.02	0.02
失配:参考天线-接收机/NA (12)	δM_{C2}	1.3/−1.5	U 形	0.99	1	—	0.98	0.98	0.98
与参考天线相连的接收机 (13)	δV_{ind}	1.00	矩形	0.58	1	—	0.33	—	—
频率内插 (14)	δC_f	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
定向耦合器:耦合因子 (15)	δF_{DC}	0.80	$k=2$	0.40	1	0.16	0.16	—	0.16
定向耦合器:插入损耗 (16)	δA_{DC}	0.60	$k=2$	0.30	1	0.09	0.09	—	0.09
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (17)	δA_{C1}	0.30	$k=2$	0.15	1	0.02	0.02	—	0.02
失配:定向耦合器-功率计 (18)	δM_{C1}	1.3/−1.5	U 形	0.99	1	0.98	0.98	—	0.98
频谱分析仪/功率计 (19)	δP_{ind}	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	—	—
网络分析仪 (20)	δs_{21}	0.50	$k=2$	0.25	1	—	—	0.06	0.06
交叉极化 (21)	δA_{cp}	0.00	—	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
环境									
与天线的间隔距离(22)	δd_{mess}	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
注: 第一列括号中的编号注的说明见 D.1.3。 TRP:转换参考点。				—	u_c	2.13	2.33	1.92	2.22
				$k=1.64$	—	3.50	3.81	3.14	3.64
				$k=2$	—	4.26	4.65	3.83	4.44

D.1.3 关于输入量估计值的说明

表 D.1 和表 D.2 所列的输入量估计值 x_i 的不确定度是表中所注明的覆盖频率范围内最大的不确定度,前提是该不确定度应与 GB/T 6113.101 中规定的测量设备规范的允差相一致。输入量圆括号中的编号系指下面说明的编号。

表 D.1 和表 D.2 中的估计值的某些假设对一个特定的检测实验室可能是不适用的。当检测实验室评定其测量设备的扩展不确定度 U_{lab} 时,应考虑其特定的测量系统所提供的信息,包括设备的特性、校准数据的质量和传递、已知的或可能的概率分布以及测量程序。检测实验室在整个频率范围内分段评定其不确定度是有利的,尤其是当一个占主导地位的不确定度分量在整个频率范围内变化显著时更是如此。

表 D.1 和表 D.2 给出的扩展不确定度,其包含因子 $k=2$,这通常表明真值位于以测量值为中心的一个对称区间内,置信概率为 95%。当采用单侧评定时,若置信概率为 95%,则包含因子 $k=1.64$ 。

下列各项说明中所含的注,旨在与上面假定的数据或情形不同的检测实验室提供一些指导:

- 1) 接收机读数变化的原因包括测量系统的不稳定、接收机的噪声和表的刻度内插误差。 V_r 的估计值是多次读数的平均值,其标准不确定度($k=1$)为平均值的实验标准差。
- 2) 对接收机正弦波电压准确度的修正 δV_{sw} 的估计值、及其扩展不确定度和包含因子均可从校准报告得到。

注 1: 如果校准报告表明接收机的正弦波电压准确度在 GB/T 6113.101 所规定的允差(± 2 dB)范围内,则 δV_{sw} 的估计值宜被认为是 0,并服从半宽度为 2 dB 的矩形概率分布。

- 3) 一般来说,要想对不理想的接收机的脉冲频率响应特性进行修正是不切实际的。对于峰值、准峰值、平均值或有效值检波方式的接收机来说,假定校准报告表明其脉冲幅度响应符合 GB/T 6113.101 所规定的 ± 1.5 dB 允差要求,则 δV_{pa} 的估计值为 0,且服从半宽度为 1.5 dB 的矩形概率分布。

- 4) GB/T 6113.101 规定的接收机对脉冲重复频率响应的允差随重复频率和检波类型而变化。假定校准报告表明接收机脉冲重复频率响应符合 GB/T 6113.101 规定的允差要求,那么 δV_{pr} 的估计值为 0,且服从半宽度为 1.5 dB(该值被认为是 GB/T 6113.101 允差的典型值)的矩形概率分布。

注 2: 如果验证脉冲幅度响应或脉冲重复频率响应在 GB/T 6113.101 规定的 $\pm \alpha$ dB($\alpha \leq 1.5$),那么响应修正的估计值为 0,且服从半宽度为 α dB 的矩形概率分布。

如果骚扰在检波器上产生连续波信号,那么对脉冲响应的修正不予考虑。

- 5) CISPR 接收机的本底噪声通常对辐射骚扰的影响可忽略不计。然而,接近限值的接收机的本底噪声会影响那些接近辐射骚扰限值的测量结果。

注 3: 对于辐射骚扰测量, δV_{ref} 的估计值为 0,扩展不确定度为 0.5 dB,包含因子为 2。

- 6) p_{TR} 和测量接收机输入端之间的衰减需要进行测量。对应的测量误差会直接影响发射测量的结果。

- 7) 一般来说, p_{TR} 的接收机端口会连接到一个两端口网络的一端(端口 1),而反射系数为 Γ_r 的接收机则连接到网络的另一端(端口 2)。该两端口网络可以是电缆、衰减器、衰减器和电缆的串联或者某些其他部件的组合;它可以用 S 参数来表征。由此得到对网络引入失配的修正 δM 如下:

$$\delta M = 20 \lg[(1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r] \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

Γ_e ——骚扰测量布置中,从与 EUT 相连的人工电源网络的接收机端口、吸收钳或天线上的输出端口看进去的反射系数。所有的参数都是相对于 50 Ω 的。

如果只是已知参数的模或参数的模的极值,那么要想计算 δM 是不可能的,但可以确认其极值 $\delta M^{\pm}$ 将不大于:

$$\delta M^{\pm} = 20 \lg [1 \pm (|\Gamma_e| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{11}| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)] \dots\dots\dots (D.2)$$

δM 的概率分布近似为 U 形分布,其宽度不大于 $(\delta M^{+} - \delta M^{-})$ 、标准差不大于半宽度除以 $\sqrt{2}$ 。对于辐射骚扰测量,假设天线的技术指标 $VSWR \leq 2.0$,进而得出(天线端的) $|\Gamma_e| \leq 0.33$ 。同时假设接收机的连接电缆匹配良好 ($|S_{11}| \ll 1$, $|S_{22}| \ll 1$)、其衰减可以忽略不计 ($|S_{21}| \approx 1$);此外接收机的射频衰减为 0 dB。这一假设是建立在满足 GB/T 6113.101 基础上,即 $VSWR \leq 2.0$,进而得出(接收机端的)反射系数 $|\Gamma_r| \leq 0.33$ 。

修正 δM 的估计值为 0、服从宽度等于 $(\delta M^{+} - \delta M^{-})$ 的 U 形概率分布。

注 4: δM 和 $\delta M^{\pm}$ 的表达式表明:减小失配误差可以通过在接收机前增加匹配良好的两端口网络的衰减来实现,其代价是降低了测量的灵敏度。

注 5: 式(D.2)的额外考虑:a) 当加数之间不相关或仅弱相关时,则线性相加可以用平方和的平方根法则代替。

b) 通常,当加数的量值不大时,可以做进一步的近似(下式中的 $\delta M^{\pm}$ 为 U 形分布的半宽),最终得到:

$$\delta M^{\pm} \approx 8.7 \sqrt{(|\Gamma_e| |S_{11}|)^2 + (|\Gamma_r| |S_{22}|)^2 + (|\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)^2} \text{ dB}$$

对某些天线,某些频率上的 $VSWR$ 可能远大于 2.0。

需要指出,当使用复杂天线时,可能需要采取措施以确保从接收机向天线端口看过去的天线阻抗符合 GB/T 6113.101 规定的 $VSWR \leq 2.0$ 要求。

- 8) 系统平均转换系数由 15 个采样点的值计算得到。由于被测量为系统平均转换系数,因此其标准偏差 $s_{dB, \bar{c}}$ 需作为不确定度的输入量。表 D.1 和表 D.2 给出的平均值的标准偏差是由 15 个采样点的值计算得到的。
- 9) 在确认/校准类型 1 的布置中,系统平均转换系数的估值是根据场强探头得到的。这种不确定度的输入量为校准不确定度、场强探头的不平衡(各向异性)、场强探头的频率响应和温度敏感性的一个合成量。通常,这个数据可从场强探头的参数表或校准证书中得到。
- 10) 对于确认/校准类型 2~类型 4 的布置,系统平均转换系数由参考天线的测量得到。假设参考天线的自由空间天线系数及其扩展不确定度和包含因子可从校准报告得到。
- 11) 参考天线和用于确认/校准试验的测量接收机或网络分析仪的输入端之间的电缆衰减需要进行测量。与其对应的测量不确定度影响系统平均转换系数的标准偏差。这种不确定度分量仅适用于类型 2~类型 4 的布置。
- 12) 参考天线和测量接收机或网络分析仪之间的连接通过失配修正项 δM_{ca} 进行考虑,这种不确定度分量与失配的修正相关,仅适用于类型 2~类型 4 的布置。有关评定原理的详细信息见 D.1.3 的 7)。
- 13) 在确认/校准过程中,与参考天线相连的接收机的示值为 V_{ind} ,其不确定度来源为接收机读数和正弦波响应准确度的合成,仅适用于类型 2 的布置。
- 14) 如果转换系数是通过相邻校准频率点的数据之间的内插计算得到的,那么该转换系数的不确定度依赖于确认/校准点之间的频率间隔和转换系数随频率的变化。画出被校准转换系数随频率变化的曲线有助于直观了解这种情形。

对转换系数的内插误差的修正 δC_f 的估计值为 0,并服从半宽度为 0.3 dB 的矩形概率分布。

注 6: 如果在任一频率点上均可得到校准的天线系数,那么则不必考虑修正 δC_f 。

- 15) 需要测量功率输入和前向功率输出之间定向耦合器的耦合因子。这种不确定度分量与耦合因子的测量相关,适用于类型 1、类型 2 和类型 4 的布置。
- 16) 需要测量功率输入和功率输出之间定向耦合器的插入损耗。这种不确定度分量与插入损耗的测量相关,适用于类型 1、类型 2 和类型 4 的布置。

- 17) 在确认/校准类型 1、类型 2 和类型 4 的布置中,定向耦合器的前向功率输出和频谱分析仪/功率计/网络分析仪之间需要使用电缆。其衰减需要在系统平均转换系数的偏差中考虑。与这种测量相关的不确定度适用于类型 1、类型 2 和类型 4 的布置。
 - 18) 定向耦合器的前向功率输出和频谱分析仪/功率计/网络分析仪之间的连接通过失配修正项 δM_{cl} 进行考虑。这种不确定度分量与失配的修正相关,仅适用于类型 1、类型 2 和类型 4 的配置。有关评定原理的详细信息见 D.1.3 的 7)。
 - 19) 在确认/校准过程中,与定向耦合器的输出端相连的频谱分析仪/功率计的示值为 P_{ind} 。其不确定度来源为接收机读数和正弦波响应准确度的合成,仅适用于类型 1 和类型 2 的布置。
 - 20) 在确认/校准类型 3 和类型 4 的布置中需要测量参数 S_{21} 。与这种测量相关的不确定度会影响系统平均转换系数偏差的不确定度。
 - 21) 对于双锥天线,交叉极化响应被认为是可忽略的。对于对数周期天线,对交叉极化响应的修正 δA_{cp} 的估计值为 0,且服从矩形概率分布,其半宽度为 0.9 dB,对应于 GB/T 6113.104 中 -20 dB 的交叉极化响应的允差。
- 注 7: 如果测量天线是偶极子天线,则修正 δA_{cp} 可忽略不计。
- 22) 测试距离的误差来自于对 EUT 边界的确定、测量距离和天线杆的倾斜程度。对距离误差的修正 $\delta d_{measurement}$ 的估计值为 0,且服从矩形概率分布和一定大小的半宽度,该值是在最大距离误差为 ± 0.1 m、在所界定的距离范围内场强与距离成反比的假设的基础上评估出来的。

D.2 抗扰度试验的不确定度

D.2.1 概述

由于抗扰度试验通常给出的不是数值结果,而是给出简单的“通过”或“不通过”作为试验结果,因此抗扰度试验不确定度的处理方式则和发射测量的不同。在抗扰度试验过程中,由若干参数表征的一个骚扰量施加给 EUT。监测或观察 EUT 的一个或多个可观测信号并将其与商定的判据相比较,由此可得到试验结果(通过/不通过)。

传统的测量不确定度分析原则上可以用于测量的 EUT 信号。由于监测测量的过程对每一个 EUT 是特定的,因此基础标准不能且不应涉及监测系统(观察者)的测量不确定度,然而这样的监测是可以实现的。

骚扰量的参数也可以规定不确定度。就这点来说,这些不确定度与本基础标准规定的设备的技术指标的一致程度有关。针对特定试验设备系统得出的这些不确定度并不能描述本基础标准中规定的模拟电磁现象与实验室外环境中的实际电磁现象之间的一致程度。因此,与骚扰量的定义相关的问题则与试验设备的不确定度无关。

由于骚扰量的参数对 EUT 的影响试验前是未知的,且在大多数的情况下 EUT 表现出非线性的系统特性,因此不能把单个的不确定度数值定义为骚扰量的“总不确定度”。骚扰量的每个参数都应给出一个特定的不确定度,对于抗扰度试验来说,这将会产生多个不确定度值的评估。

作为例子,本附录给出了电平设定的不确定度。出于本部分的目的,后续会考虑骚扰量的其他参数(例如,场的均匀性、调制、放大器饱和产生的谐波)。

D.2.2 影响因素

图 D.2 给出了对试验方法有影响的示例,值得注意的是下图中给出的影响因素并不全面。

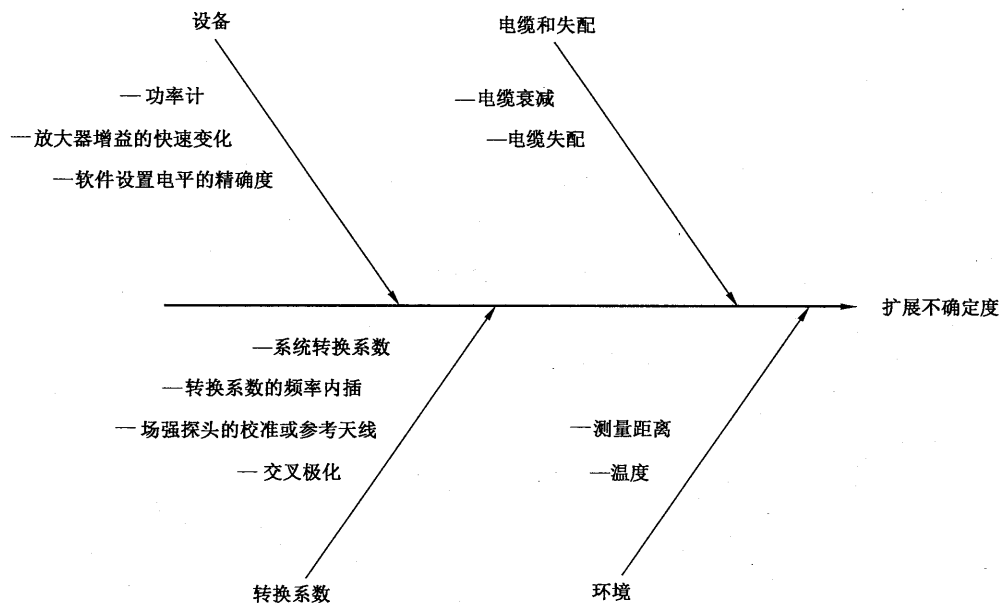


图 D.2 对抗扰度试验方法有影响的因素示例

本条中给出的测量不确定度和不确定度评定仅作为例子。检测实验室应使用与本节所示影响因素对应的自身数值以及其他因素(如果适用时)。不确定度计算中使用的通用术语和概念的附加解释见参考文献[4]。

D.2.3 抗扰度试验电平设定的不确定度评定

下面给出的不确定度评定取决于确认/校准布置的类型(见 5.2)以及所选择的电缆和设备。例如，如果实验室采用类型 1 的布置进行确认/校准，且抗扰度试验时使用相同的电缆/设备，则许多不确定度分量不用考虑，电平设定的不确定度可以减至最小。

表 D.3 FAR 中 30 MHz~1 000 MHz 频率范围的抗扰度试验电平设定的测量设备和设施的不确定度

输入量	x_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ 确认布置类型			
		dB	概率分 布函数			1	2	3	4
设备									
功率计 (1)	$\delta P_{\text{ind,t}}$	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	0.21	0.21
功率放大器增益的变化 (2)	δg_{PA}	0.20	矩形	0.12	1	0.01	0.01	0.01	0.01
软件设置电平的窗口 (3)	δg_{SW}	0.60	矩形	0.35	1	0.12	0.12	0.12	0.12
电缆和定向耦合器									
定向耦合器:耦合因子 (4)	$\delta k_{\text{CLfor,t}}$	0.80	$k=2$	0.40	1	—	—	0.16	—
定向耦合器:插入损耗 (5)	$\delta k_{\text{ILDC,t}}$	0.60	$k=2$	0.30	1	—	—	0.09	—
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (6)	δk_{ILCl}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	—	0.02	—

表 D.3 (续)

输入量	x_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ 确认布置类型			
		dB	概率分布函数			1	2	3	4
失配:定向耦合器-功率计 (7)	δM_{C1}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	—	0.98	—
失配:定向耦合器-TRP (8)	δM_{TRP}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	—	0.98	—
系统转换系数									
系统平均转换系数 (9)	C_{dB}	0.77	$k=1$	0.77	1	0.60	0.60	0.60	0.60
场强探头的校准 (10)	δF_{FP}	1.70	$k=2$	0.85	1	0.72	—	—	—
参考天线 (11)	δF_{RA}	1.00	$k=2$	0.50	1	—	0.25	0.25	0.25
电缆衰减:(参考天线-接收机) (12)	δA_{C2}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	0.02	0.02	0.02
失配:参考天线-接收机/ 网络分析仪 (13)	δM_{C2}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	0.98	0.98	0.98
与参考天线相连的接收机 (14)	δV_{ind}	1.00	矩形	0.58	1	—	0.33	—	—
频率内插 (15)	δC_f	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
定向耦合器:耦合因子 (16)	δF_{DC}	0.80	$k=2$	0.40	1	—	—	—	—
定向耦合器:插入损耗 (17)	δA_{DC}	0.60	$k=2$	0.30	1	—	—	—	—
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (18)	δA_{C1}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	—	—	0.02
失配:定向耦合器-功率计 (19)	δM_{C1}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	0.98	—	0.98
频谱分析仪/功率计 (20)	δP_{ind}	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	—	—
网络分析仪 (21)	δS_{21}	0.50	$k=2$	0.25	1	—	—	0.06	0.06
交叉极化 (22)	δA_{cp}	0.00	—	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
环境									
与天线的间隔距离 (23)	δd_{meas}	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
注: 第一列括号中的编号注的说明见 D.2.4。 TRP: 转换参考点。				—	u_c	1.39	1.95	2.13	1.82
				$k=1.64$	—	2.29	3.19	3.50	2.99
				$k=2$	—	2.79	3.89	4.27	3.65

表 D.4 FAR 中 1 GHz~18 GHz 频率范围的抗扰度试验电平设定的测量设备和设施的不确定度

输入量	x_i	x_i 的不确定度		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ 确认布置类型			
		dB	概率分布函数			1	2	3	4
设备									
功率计 (1)	$\delta P_{\text{ind},t}$	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	0.21	0.21
功率放大器增益的变化 (2)	δg_{PA}	0.20	矩形	0.12	1	0.01	0.01	0.01	0.01
软件设置电平的窗口 (3)	δg_{SW}	0.60	矩形	0.35	1	0.12	0.12	0.12	0.12
电缆和定向耦合器									
定向耦合器:耦合因子 (4)	$\delta k_{\text{CLfor},t}$	0.80	$k=2$	0.40	1	—	—	0.16	—
定向耦合器:插入损耗 (5)	$\delta k_{\text{ILDC},t}$	0.60	$k=2$	0.30	1	—	—	0.09	—
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (6)	δk_{ILCl}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	—	0.02	—
失配:定向耦合器-功率计 (7)	δM_{Cl}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	—	0.98	—
失配:定向耦合器-TRP (8)	δM_{TRP}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	—	0.98	—
系统转换系数									
系统平均转换系数 (9)	C_{dB}	0.46	$k=1$	0.46	1	0.22	0.22	0.22	0.22
场强探头的校准 (10)	δF_{FP}	1.70	$k=2$	0.85	1	0.72	—	—	—
参考天线 (11)	δF_{RA}	1.00	$k=2$	0.50	1	—	0.25	0.25	0.25
电缆衰减:参考天线-接收机 (12)	δA_{Cz}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	0.02	0.02	0.0-2
失配:参考天线-接收机/网络分析仪 (13)	δM_{Cz}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	0.98	0.98	0.98
与参考天线相连的接收机 (14)	δV_{ind}	1.00	矩形	0.58	1	—	0.33	—	—
频率内插 (15)	δC_{f}	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
定向耦合器:耦合因子 (16)	δF_{DC}	0.80	$k=2$	0.40	1	—	—	—	—
定向耦合器:插入损耗 (17)	δA_{DC}	0.60	$k=2$	0.30	1	—	—	—	—
电缆衰减:定向耦合器-功率计 (18)	δA_{Cl}	0.30	$k=2$	0.15	1	—	—	—	0.02
失配:定向耦合器-功率计 (19)	δM_{Cl}	1.3/ -1.5	U 形	0.99	1	—	0.98	—	0.98
频谱分析仪/功率计 (20)	δP_{ind}	0.80	矩形	0.46	1	0.21	0.21	—	—
网络分析仪 (21)	δs_{21}	0.50	$k=2$	0.25	1	—	—	0.06	0.06
交叉极化 (22)	δA_{cp}	0.00	—	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
环境									
与天线的间隔距离 (23)	δd_{meas}	0.30	矩形	0.17	1	0.03	0.03	0.03	0.03
注: 第一列括号中的编号注的说明见 D.2.4。 TRP:转换参考点。				—	u_c	1.25	1.84	2.04	1.71
				$k=1.64$	—	2.05	3.02	3.35	2.81
				$k=2$	—	2.50	3.69	4.08	3.43

D.2.4 关于输入量估计值的说明

表 D.3 和表 D.4 所列的输入量估计值 x_i 的不确定度是表中所注明的覆盖频率范围内最大的不确定度。输入量圆括号中的编号系指下面说明的编号。

表 D.3 和表 D.4 中的估计值的某些假设对一个特定的检测实验室可能是不适用的。当检测实验室评定其测量设备的扩展不确定度时,应考虑其特定的测量系统所提供的信息,包括设备的特性、校准数据的质量和传递、已知的或可能的概率分布以及测量程序。检测实验室在整个频率范围内分段评定其不确定度是有利的,尤其是当一个占主导地位的不确定度分量在整个频率范围内变化显著时更是如此。

表 D.3 和表 D.4 给出的扩展不确定度,其包含因子 $k=2$,这通常表明真值位于以测量值为中心的一个对称区间内,置信概率为 95%。当采用单侧评定时,若置信概率为 95%,则包含因子 $k=1.64$ 。

下列各项说明中所含的注,旨在与上面假定的数据或情形不同的检测实验室提供一些指导:

- 1) 此不确定度分量与用于抗扰度试验的功率计本身及其传感器的不确定度有关。该不确定度可从制造商的规范和/或校准证书得到。如果使用确认/校准类型 1 的配置,且抗扰度试验时使用相同的电缆/设备,则此不确定度分量 $\delta P_{\text{ind},t}$ 和不确定度分量 $\delta P_{\text{ind}}(20)$ 简化为功率计的重复性和线性。
- 2) 稳态后功率放大器增益的快速变化产生的影响。
- 3) 抗扰度试验过程中射频信号发生器的不连续步进和电平设定软件窗口产生的影响。该软件窗口(电平设定范围)通常由检测实验室进行调整。
- 4) 需要测量抗扰度试验时功率输入和前向功率输出之间定向耦合器的耦合因子。此不确定度分量与耦合因子的测量相关。如果相同的定向耦合器用于确认/校准和试验,则对于确认/校准类型 1、类型 2 和类型 4 的配置无须考虑此不确定度分量。
- 5) 需要测量功率输入和功率输出之间定向耦合器的插入损耗。此不确定度分量与插入损耗的测量相关。如果相同的定向耦合器用于确认/校准和试验,则对于确认/校准类型 1、类型 2 和类型 4 的配置无须考虑此不确定度分量。
- 6) 如果确认/校准测量和抗扰度试验时定向耦合器和功率计之间使用的电缆不同,则需要对其进行表征。此不确定度分量与抗扰度试验时使用的电缆相关。通常,仅确认/校准类型 3 的配置通常需要考虑此分量。
- 7) 定向耦合器的前向功率输出会连接到一个两端口网络的一端(端口 1),而反射系数为 Γ_r 的功率计则连接到网络的另一端(端口 2)。该两端口网络可以是电缆、衰减器、衰减器和电缆的串联或者某些其他部件的组合;它可以用 S 参数来表征。由此得到对网络引入失配的修正 δM 如下:

$$\delta M = 20 \lg[(1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r] \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

Γ_e ——从定向耦合器的输出端口看进去的反射系数。所有的参数都是相对于 50 Ω 的。

如果只是已知参数的模或参数的模的极值,那么要想计算 δM 是不可能的,但可以确认其极值 $\delta M^\pm$ 将不大于:

$$\delta M^\pm = 20 \lg[1 \pm (|\Gamma_e| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{11}| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)] \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

δM 的概率分布近似为 U 形分布,其宽度不大于 $(\delta M^+ - \delta M^-)$ 、标准差不大于半宽度除以 $\sqrt{2}$ 。修正 δM 的估计值为 0、服从宽度等于 $(\delta M^+ - \delta M^-)$ 的 U 形概率分布。

注 1: δM 和 $\delta M^\pm$ 的表达式表明:减小失配误差可以通过在接收机前增加匹配良好的两端口网络的衰减来实现,其代价是降低了测量的灵敏度。

注 2: 式(D.4)的额外考虑: a) 当加数之间不相关或仅弱相关时, 则线性相加可以用平方和的平方根法则代替。b) 通常, 当加数的量值不大时, 可以做进一步的近似(下式中的 $\delta M^\pm$ 为 U 形分布的半宽), 最终得到:

$$\delta M^\pm \approx 8.7 \sqrt{(|\Gamma_e| |S_{11}|)^2 + (|\Gamma_e| |S_{22}|)^2 + (|\Gamma_e| |S_{21}|)^2} \text{ dB}$$

通常, 仅确认/校准类型 3 的配置需要考虑此分量。

- 8) 对于抗扰度试验, 定向耦合器的输出连接到 p_{TR} 。对失配所做的修正为不确定度分量, 通常, 仅确认/校准类型 3 的配置需要考虑此分量。
- 9) 系统平均转换系数由 15 个采样点的值计算得到。由于被测量为系统平均转换系数, 因此其标准偏差 $s_{dB, \bar{c}}$ 应作为不确定度的输入量。表 D.3 和表 D.4 给出的平均值的标准偏差是由 15 个采样点的值计算得到的。
- 10) 在确认/校准类型 1 的布置中, 系统平均转换系数的估值是根据场强探头得到的。此不确定度的输入量为校准不确定度、场强探头的不平衡(各向异性)、场强探头的频率响应和温度敏感性的一个合成量。通常, 这个数据可从场强探头的参数表或校准证书中得到。
- 11) 对于确认/校准类型 2~类型 4 的配置, 系统平均转换系数由参考天线的测量得到。假设参考天线的自由空间天线系数 F_{RA} 及其扩展不确定度和包含因子可从校准报告得到。
- 12) 参考天线和用于确认/校准试验的测量接收机或网络分析仪的输入端之间的电缆衰减需要进行测量。与其对应的测量不确定度影响系统平均转换系数的标准偏差。此不确定度分量仅适用于类型 2~类型 4 的配置。
- 13) 参考天线和测量接收机或网络分析仪之间的连接通过失配修正项 δM_{C2} 进行考虑, 此不确定度分量与失配的修正相关, 仅适用于类型 2~类型 4 的布置。有关评定原理的详细信息见 D.2.4 的 7)。
- 14) 在确认/校准过程中, 与参考天线相连的接收机的示值为 V_{ind} , 其不确定度来源为接收机读数和正弦波响应准确度的合成, 仅适用于类型 2 的配置。
- 15) 如果转换系数是通过相邻校准频率点的数据之间的内插计算得到的, 那么该转换系数的不确定度依赖于确认/校准点之间的频率间隔和转换系数随频率的变化。画出被校准转换系数随频率变化的曲线有助于直观了解这种情形。
对转换系数的内插误差的修正 δC_i 的估计值为 0, 并服从半宽度为 0.3 dB 的矩形概率分布。
- 注 3: 如果在任一频率点上均可得到校准的转换系数, 那么则不必考虑修正 δC_i 。
- 16) 需要测量功率输入和前向功率输出之间定向耦合器的耦合因子。此不确定度分量与耦合因子的测量相关, 仅适用于确认/校准和抗扰度试验时使用不同定向耦合器的情况。
- 17) 需要测量功率输入和功率输出之间定向耦合器的插入损耗。此不确定度分量与插入损耗的测量相关, 仅适用于确认/校准和抗扰度试验时使用不同定向耦合器的情况。
- 18) 在确认/校准类型 4 的布置中, 定向耦合器的前向功率输出和网络分析仪之间需要使用电缆。若抗扰度试验时定向耦合器和功率计之间使用的电缆与其不同, 则其衰减需要在系统平均转换系数的偏差中考虑。与这种测量相关的不确定度适用于类型 4 的配置。
- 19) 定向耦合器的前向功率输出和网络分析仪之间的连接通过失配修正项 δM_{C1} 进行考虑。此不确定度分量与失配的修正相关, 仅适用于类型 2 和类型 4 的配置。有关评定原理的详细信息见 D.2.4 的 7)。
- 20) 在确认/校准过程中, 与定向耦合器的输出端相连的频谱分析仪/功率计的示值为 P_{ind} 。其不确定度来源为接收机读数和正弦波响应准确度的合成, 仅适用于类型 1 和类型 2 的配置。如果抗扰度试验时使用相同的功率计, 结合 D.2.4 的 1), 则此不确定度分量 δP_{ind} 和不确定度分量 $\delta P_{ind, t}$ (1) 简化为功率计的重复性和线性。
- 21) 在确认/校准类型 3 和类型 4 的配置中需要测量参数 S_{21} 。与此测量相关的不确定度会影响

系统平均转换系数偏差的不确定度。

- 22) 对于双锥天线,交叉极化响应被认为是可忽略的。对于对数周期天线,对交叉极化响应的修正 δA_{cp} 的估计值为 0,且服从矩形概率分布,其半宽度为 0.9 dB,对应于 GB/T 6113.104 中—20 dB 的交叉极化响应的允差。

注 4: 如果测量天线是偶极子天线,则修正 δA_{cp} 可忽略不计。

- 23) 测试距离的误差来自于对 EUT 边界的确定、测量距离和天线支架的倾斜。大距离误差为 ± 0.1 m、在所界定的距离范围内场强与距离成反比的假设的基础上评估出来的。

参 考 文 献

- [1] GB/Z 18509—2016 电磁兼容 电磁兼容标准起草导则(IEC Guide 107:2009, neq)
 - [2] IEC 61000-4-3:2006+A1:2007 Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4-3: Testing and measurement techniques—Radiated radio frequency, electromagnetic field immunity test
 - [3] CISPR/TR 16-4-1:2009 Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods—Part 4-1: Uncertainties, Statistics and Limit Modelling—Uncertainties in Standardized EMC tests
 - [4] ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
 - [5] ANSI C63.4-2009 American National Standard for Methods of Measurement of Radio—Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz
 - [6] Kraus, John Daniel, Antennas, 2nd ed., McGraw-Hill, 1988, Section 2-25.
 - [7] Lee, Kai Fong, Principles of Antenna Theory, Wiley, 1984, Section 4-4.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
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 17626.22—2017/IEC 61000-4-22:2010

*

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.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

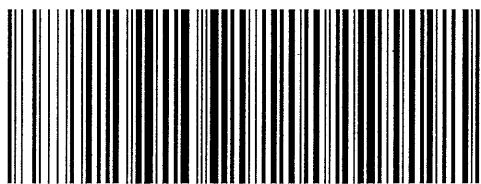
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.75 字数 76 千字
2018年1月第一版 2018年1月第一次印刷

*

书号: 155066·1-59274 定价 39.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 17626.22-2017