



中华人民共和国国家标准

GB/T 6113.203—2016/CISPR 16-2-3:2010
代替 GB/T 6113.203—2008

无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量

Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—
Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity—
Radiated disturbance measurements

(CISPR 16-2-3:2010, IDT)

2016-04-25 发布

2016-11-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 骚扰的类型	6
5 测量辅助设备的连接	6
6 测量的一般要求和条件	7
7 辐射骚扰测量方法	16
8 发射的自动测量	44
附录 A (资料性附录) 存在环境发射时的骚扰测量	49
附录 B (资料性附录) 频谱分析仪和扫频收机的使用要求	60
附录 C (资料性附录) 使用平均值检波器时的扫频速率和测量时间	63
附录 D (资料性附录) APD 测量法用于符合性试验的解释	67
附录 E (规范性附录) 频谱分析仪用于符合性试验的适用性测定	69
参考文献	70

前 言

《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范》为电磁兼容基础标准,由以下4大部分组成。

第1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备规范:

- 第1-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备;
- 第1-2部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 传导骚扰;
- 第1-3部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 骚扰功率;
- 第1-4部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地;
- 第1-5部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 30 MHz~1 000 MHz 天线校准用试验场地;
- 第1-6部分:天线校准方法。

第2部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法:

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

第3部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告:

- 第3部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告。

第4部分:不确定度、统计学和限值建模:

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

本部分为 GB/T 6113 的第 2-3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 6113.203—2008《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量》,与 GB/T 6113.203—2008 相比主要技术变化如下:

- 增加了 20 个术语和定义;删除了原文的 3 个术语和定义(见第 3 章);
- 增加了均方根平均值检波器(见 4.3);
- 第 5 章删除了 5.1、5.2、5.3 的内容;
- 将断续骚扰的内容修改为“对于辐射断续骚扰的测量目前没有要求”(见 6.5.2);
- 增加了骚扰持续时间的测量内容(见 6.5.3);
- 修改了 6.6.2 的内容,增加了表 1“4 段 CISPR 频段的最短测量时间 T_m ”;
- 增加了使用基于 FFT 仪器时在测量时间方面的考虑(见 6.6.6);
- 增加了表 3“CISPR 辐射发射试验场地和试验方法的适用频率范围和参考文件”(见 7.1);
- 调整第 7 章的顺序,将环天线系统(LAS)试验(9 kHz~30 MHz)提前,部分进行了修改;
- 增加了 LAS 的测量不确定度(见 7.2.5);
- 7.3 增加了被测量的内容及试验场地要求;增加了测量距离的部分内容及注;增加了 7.3.9 “OATS 和 SAC 的测量不确定度”、通用辐射/抗扰度设置和方法的测量不确定度的内容;

- 修改了 EUT 位置的内容(见 7.4.2);
- 增加了 FAR 的测量不确定度(见 7.4.4);
- 修改了 7.5 的内容;增加适用性、EUT 边界的定义和天线到 EUT 之间的距离、均匀场试验空间、在共用的辐射/抗扰度试验布置下的 EUT 布置规范的内容;
- 增加了 7.6.3 EUT 的布置和工作条件;增加 7.6.5 测量仪器及 7.6.6.1 1GHz 以上辐射场强测量的总体说明;增加 7.6.6.2 使用传统(非统计)检波器测量,包括一般测量程序、预测量程序、最终测量程序等;
- 增加了 7.6.6.3 运用 APD 功能测量的内容;
- 增加了 7.8.7 替换试验方法的测量不确定度;
- 增加了 8.7 基于 FFT 测量仪器发射测量指南;
- 增加了附录 A 中图 A.8 及图 A.9 的说明;
- 增加了附录 C“使用平均值检波器时的扫频速率和测量时间”、附录 D“APD 测量法用于符合性试验的解释”。
- 纠正了部分表编号及图编号的错误。

本部分采用翻译法等同采用 CISPR 16-2-3:2010(第 3.1 版)《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 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);
- GB/T 6113.201—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量(CISPR 16-2-1:2003,IDT);
- GB/Z 6113.401—2007 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-1 部分:不确定度、统计学和限值建模 标准化的 EMC 试验不确定度(CISPR 16-4-1/TR:2005,IDT);
- GB/T 6113.402—2006 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(CISPR 16-4-2:2003,IDT);
- GB/Z 6113.405—2010 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-5 部分:不确定度、统计学和限值建模替换试验方法的使用条件(CISPR 16-4-5/TR:2006,IDT);
- GB/T 17626.3—2006 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验(IEC 61000-4-3:2002,IDT);
- 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(IEC 61000-4-20:2010,IDT)。

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:上海电器科学研究所、中国电子技术标准化研究院、北京交通大学、天津市无线电监测站、中国质量认证中心华南实验室、工业和信息化部电子第五研究所、苏州泰思特电子科技有限公司、上海市质量监督检验技术研究院。

本部分主要起草人:郑军奇、邓莉莉、陈俐、闻映红、孙成明、刘媛、刘志杰、商钧、胥凌、陈辉、曹旻、胡小军、陈业刚、余海涛。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 6113.203—2008。

无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

第 2-3 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量

1 范围

GB/T 6113 的本部分规定了 9 kHz~18 GHz 频段范围内辐射骚扰的测量方法。关于测量不确定度的描述见 CISPR 16-4-1 及 CISPR 16-4-2。

注:依据 IEC 107 导则,本部分为 IEC 所属产品委员会使用的基础 EMC 标准。正如 IEC 107 导则所述,产品委员会有责任决定 EMC 标准的适用性。CISPR 及其分技术委员会(对应于国内的 SAC/TC 79 技术委员会及其分技术委员会)与这些产品委员会在评估其特定产品的特定试验的价值展开合作。上述产品委员对应于国内相关的产品技术委员会。

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 4343.1—2009 家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求 第 1 部分:发射(CISPR 14-1:2005, IDT)

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

GB/T 6113.102—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-2 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 传导骚扰(CISPR 16-1-2:2006, IDT)

CISPR 16-1-1 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-1:Radio disturbance and immunity measuring apparatus—Measuring apparatus)

CISPR 16-1-4:2010 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 辅助设备 辐射骚扰(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)

CISPR 16-2-1:2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 2-1:Methods of measurement of disturbances and immunity—Conducted disturbance measurements)

CISPR 16-4-1 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-1 部分:不确定度,统计学和限值建模 标准化的 EMC 试验的不确定度(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 4-1:Uncertainties, statistics and limit modelling—Uncertainties in standardized EMC tests)

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

apparatus and methods—Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling—Uncertainty in EMC measurements)

CISPR 16-4-5 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-5 部分: 不确定度, 统计学和限值建模 替换试验方法的使用条件 (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 4-5: Uncertainties, statistics and limit modelling—Conditions for the use of alternative test methods)

IEC 61000-4-3:2006 电磁兼容 第 4-3 部分: 试验和测量技术 辐射, 射频电磁场的抗扰度试验 + A; 2007] (Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-3: Testing and measurement techniques—Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test)

IEC 61000-4-20 电磁兼容 第 4-20 部分: 试验和测量技术 横向电磁波导中的发射和抗扰度测量 [Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-20: Testing and measurement techniques—Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides]

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

铺有吸波材料的开阔试验场地/半电波暗室 absorber-lined OATS/SAC

接地平板部分覆盖射频能量吸收材料的开阔试验场地/半电波暗室 (OATS/SAC)。

(见 3.20 及 3.22)

3.2

测量辅助设备 ancillary equipment

与测量接收机或试验信号发生器相连, 用以建立受试设备 (EUT) 和测量或试验仪器之间的骚扰信号传输路径的传感器 (例如, 电流探头、电压探头和人工网络)。

3.3

天线波瓣 antenna beam

接收天线的天线方向图 (增益方向图) 主波瓣 (通常在最高灵敏度或最小天线系数的方向), 试验中通常正对 EUT。

3.4

天线波瓣宽度 antenna beamwidth

以天线主瓣的最大功率为参考的两个半功率 (3 dB) 点之间的夹角。可通过天线的 E 面或者 H 面来表征。

注: 天线的波瓣宽度用度表示。

3.5

EUT 辅助设备 associated equipment; AE

不属于被测系统但被用来辅助 EUT 运行的设备。

3.6

外围设备 auxiliary equipment; AuxEq

属于受试系统的外部设备。

3.7

基础标准 basic standard

具有广泛的适用范围或包含一个特定领域的通用条款的标准。

注: 基础标准可直接应用, 也可作为其他标准的基础。

[GB/T 20000.1—2014, 定义 7.1]

3.8

同轴电缆 coaxial cable

含有一根或多根同轴线的电缆,一般用于测量辅助设备与测量设备或(试验)信号发生器的匹配连接,以便提供一个规定的特性阻抗和允许的最大电缆转移阻抗。

3.9

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

安装在引出到辐射发射测量试验空间外的电缆上的装置,以降低符合性不确定度。

[CISPR 16-1-4:2010, 3.1.4]

3.10

合格评定 conformity assessment

与产品、过程、体系、人员或机构有关的规定要求得到满足的证实。

注:合格评估的对象范围在 GB/T 27000—2006 有充分的定义,如试验,检验和认证,以及合格评定机构的认证。

[GB/T 27000—2006, 定义 2.1]

3.11

连续骚扰 continuous disturbance

在测量接收机中频输出端呈现的持续时间大于 200 ms 的射频骚扰,它使工作在准峰值检波方式的测量接收机表头产生的偏转不会立即减小。

[见 GB/T 4365 161-02-11]

3.12

(电磁)发射 (electromagnetic) emission

从源向外发出电磁能的现象。

[GB/T 4365—2003, 定义 161-01-08]

3.13

(骚扰源的)发射限值 emission limit(from a disturbing source)

规定的电磁骚扰源的最大发射电平。

[GB/T 4365—2003, 定义 161-03-12]

3.14

受试设备 EUT

承受电磁兼容(EMC)符合性(发射)试验的设备(装置、器具和系统)。

3.15

全电波暗室 fully-anechoic room; FAR

内表面铺满射频能量吸收材料(即 RF 吸波材料)以在相关的频率范围内吸收电磁能量的屏蔽室。

3.16

环形天线系统 loop-antenna system; LAS

3 个正交方向的环形天线组成的天线系统,用于测量位于 3 个环路中的 EUT 的 3 个正交磁偶极矩。

3.17

测量、扫频和扫描时间 measurement, scan and sweep times

3.17.1

测量时间 measurement time

T_m

使单个频点的测量结果有效的连续时间(某些领域也称为驻留时间):

- 对于峰值检波器,检测到信号包络最大值的有效时间;
- 对于准峰值检波器,测得加权包络最大值的有效时间;
- 对于平均值检波器,确定信号包络平均值的有效时间;
- 对于均方根值检波器,确定信号包络有效值的有效时间。

3.17.2

扫频 scan

在给定频率跨度内的频率连续或步进变化。

3.17.3

跨度 span

Δf

扫描或扫频起止频率之差。

3.17.4

扫描 sweep

在给定频率跨度内的频率连续变化。

3.17.5

扫描或扫频的速率 sweep or scan rate

扫描或扫频跨度除以扫描或扫频的时间。

3.17.6

扫描或者扫频时间 sweep or scan time

T_s

一次扫描或者扫频的开始到结束的时间跨度。

3.17.7

观察时间 observation time

T_o

在多次扫描的情况下,某一频点测量时间 T_m 的总和。若 n 为扫描或扫频的次数,则 $T_o = n \times T_m$ 。

3.17.8

总观察时间 total observation time

T_{tot}

频谱观察的有效时间(单次或多次扫描)。若 c 为扫频或扫描的频段数,则 $T_{tot} = c \times n \times T_m$ 。

3.18

测量接收机 measuring receiver

符合 CISPR 16-1-1 的规定,带或者不带预选器的诸如可调谐电压表、EMI 接收机、频谱分析仪或基于 FFT 的测量仪这类仪器。

3.19

单位时间(例如:每秒)内的扫描次数 number of sweeps per time(e.g. per second)

n_s

扫描时间和返回时间之和的倒数,即 $1/(\text{扫描时间} + \text{返回时间})$ 。

3.20

开阔试验场地 open-area test site; OATS

用来测量电磁场的设施,意在模拟一个在某特定频率范围内的半自由空间环境,用于产品的辐射发射试验。典型的开阔试验场地的特点是地处户外的一片开阔区域,有导电地平面。

3.21

产品标准 product standard

规定产品应满足的要求以确保其适用性的标准。

注 1: 产品标准除了包括适用性的要求外,还可直接地或通过引用间接地包括诸如术语、抽样、试验、包装和标签等方面的要求,有时还可包括工艺要求。

注 2: 产品标准根据其规定的是全部的还是部分的必要要求,可区分为完整的标准和非完整的标准。同理,产品标准又可区分为不同类别的标准,例如尺寸类标准、材料类标准和交货技术通则类标准。

[GB/T 20000.1—2014,定义 7.9]

3.22

半电波暗室 semi-anechoic chamber; SAC

6 个内表面中的 5 个面的表面附有射频能量吸收材料(即 RF 吸波材料)在相关的频率范围内吸收电磁能量的屏蔽室,其底部的水平面是与开阔试验场地布置相同的导电地平面。

3.23

试验布置 test configuration

为测量发射电平而规定的 EUT 测量布置。

3.24

加权(如脉冲骚扰) weighting(of e.g. impulsive disturbance)

加权(例如对冲激脉冲骚扰的加权) weighting(of e.g. impulsive disturbance)

将峰值检波的冲激脉冲电压电平转换成与脉冲重复率相关的一种指示(多数情况下减小),以对应于干扰对无线电接收的影响。

注 1: 对于模拟接收机,其测量结果反映的是人心理上对于干扰厌恶(不适)程度的一种主观评价(听觉或视觉的,通常不是指对所表达内容某种程度的误解)。

注 2: 对于数字接收机,其所呈现的干扰的影响为一个客观量,可将该测量量规定为临界的比特误码率(BER)或比特误码概率(BEP)(即使具备完美的纠错能力也会出现误码)或选用一个具有复现性的、能反映客观评价的物理量。

3.24.1

加权骚扰测量 weighted disturbance measurement

使用加权检波器进行的骚扰测量。

3.24.2

加权特性 weighting characteristic

对特定无线电通信系统具有恒定影响的作为脉冲重复率函数的峰值电压电平,即骚扰通过无线电通信系统自身得到加权。

3.24.3

加权检波器 weighting detector

具有约定加权函数的检波器。

3.24.4

加权因子 weighting factor

相对于参考脉冲重复率或相对于峰值的加权函数的值。

注: 加权因子用分贝(dB)表示。

加权函数 weighting function 或加权曲线 weighting curve

当具有加权检波器的测量接收机指示(输出)电平恒定时,其输入峰值电压电平和脉冲重复率之间的关系,即测量接收机对重复脉冲的响应曲线。

3.25

测量 measurement

试验性地获得能最终合理地归结为一个量值的一个或多个测量值的过程。

[ISO/IEC Guide 99:2007,2.1]^{[8]1)}

3.26

试验 test

依据规定的程序测定产品、过程或服务的一种或多种特性的技术操作。

注：试验是使产品在一系列环境与运行条件和/或要求下，对产品的特性或性能进行测定或分类。

[GB/T 2900.83—2008,定义 151-16-13]^[9]

4 骚扰的类型

4.1 概述

本章给出各种骚扰的分类和适合测量它们的各种检波器。

4.2 骚扰类型

由于物理和生理心理²⁾上的原因，在测量和评定无线电骚扰时，依据骚扰频谱的分布情况、测量接收机带宽、骚扰持续时间、发生率以及骚扰影响的程度，骚扰可分为以下3类：

- a) 窄带连续骚扰：一种离散频率的骚扰，例如：应用射频能量的工、科、医(ISM)设备所产生的基波及其谐波，构成其频谱的只是一些单根谱线，这些谱线的间隔大于测量接收机的带宽。以致在测量中与下述 b)相反，只有一根谱线落在带宽内。
- b) 宽带连续骚扰：通常由诸如带换向器的电机的重复脉冲产生的骚扰。它们的重复频率低于测量接收机的带宽，以致在测量中不止一根谱线落在带宽内。
- c) 宽带不连续骚扰：由机械的或电子的开关过程产生的骚扰，例如由重复率低于 1 Hz(喀咧声率小于 30 min⁻¹)的温度自动调节器或程序控制器产生的骚扰。

对于一些孤立(单个)脉冲，b)和 c)的频谱具有连续频谱的特点，对于重复脉冲，它具有不连续频谱的特点。两种频谱的特点在于其频率范围宽于 CISPR 16-1-1 中规定的测量接收机的带宽。

4.3 检波器的功能

根据骚扰的类型，测量时可使用带有如下检波器的测量接收机：

- a) 平均值检波器：通常用于窄带骚扰和窄带信号的测量，特别适用于窄带骚扰和宽带骚扰的鉴别。
- b) 准峰值检波器：用于宽带骚扰的加权测量，以评价听觉骚扰对无线电听众的影响，但也能用于窄带骚扰的测量。
- c) 均方根-平均值检波器：用于宽带骚扰的加权测量，以评价脉冲骚扰对数字无线通信服务的影响，也用于窄带骚扰的测量。
- d) 峰值检波器：可用于宽带骚扰和窄带骚扰的测量。

带有这些检波器的测量接收机的相关规定见 CISPR 16-1-1。

5 测量辅助设备的连接

关于测量设备、测量接收机与测量辅助设备(如天线)的连接方法如下：测量接收机与测量辅助设备

1) 方括号内的数字为参考文献书目。

2) 生理心理指物理上的刺激与感官反应之间的心理关系。

之间应用屏蔽电缆连接,且其特性阻抗应与测量接收机的输入阻抗相匹配。测量辅助设备的输出端应端接规定的阻抗。

6 测量的一般要求和条件

6.1 概述

无线电骚扰测量应:

- 1) 具有可复现性,例如与测量地点、环境条件,尤其是与环境噪声无关。
- 2) 无相互作用,例如 EUT 与测量设备之间的连接应该既不影响 EUT 的功能,也不影响测量设备的准确度。

如按以下条件,可能会满足上述要求:

- a) 在所需测量的电平上要有足够的信噪比,例如在有关的骚扰限值的电平点上。
- b) 对测量装置、EUT 的运行条件和终端接法都做出了明确的规定。

6.2 非源于 EUT 产生的骚扰

6.2.1 概述

涉及环境噪声的测量信噪比应满足下列要求,若环境噪声超过所要求的电平,则应把它记录在试验报告中。

6.2.2 符合性试验

试验场地应能够将 EUT 的各种发射从环境噪声中区分出来,环境电平最好比所要测量的电平低 20 dB,但至少也要低 6 dB。对于 6 dB 的情况,测得的 EUT 骚扰电平比实际的高(可能高达 3.5 dB)。可以在将 EUT 放在适当的位置且不通电,测量环境电平来确定所要求环境的场地适用性。

在按照限值作符合性测量时,只要环境电平和骚扰源发射电平合成的结果不超过规定的限值,环境电平就允许不满足上述 6 dB 的要求。在此情况下,EUT 被认为满足限值要求。也可采取其他的做法,例如,对于窄带信号可减小带宽和/或把天线移近 EUT。

注:如果对环境场强和 EUT 发射加上环境的总场强分别进行测量,则有可能对 EUT 场强的不确定性量化水平提供一种估算方法。GB 4824—2004 的附录 C 给出有关这方面的参考资料。

6.3 连续骚扰的测量

6.3.1 窄带连续骚扰

测量设备应该保持调谐在要考察的离散频率点上,如果频率发生波动则要重新调谐。

6.3.2 宽带连续骚扰

为了评价电平不稳定的宽带连续骚扰,应找出最大的可重复产生的测量值,参见 6.5.1。

6.3.3 频谱分析仪和扫频接收机的应用

频谱分析仪和扫频接收机也可用于骚扰测量,尤其是为了缩短测量时间。然而,对于这些仪器的某些特性应给予特殊的考虑,包括过载、线性、选择性、对脉冲的正常响应、扫频速率、信号捕捉、灵敏度、幅度准确度以及峰值检波、平均值检波和准峰值检波。附录 B 给出对这些特性的要求。

6.4 EUT 的运行条件

EUT 应在下列条件下运行。

6.4.1 正常负载条件

正常负载条件规定在有关的 EUT 产品标准中,而对于 EMC 标准中未包括的那些 EUT,则会规定在制造商的产品说明书中。

6.4.2 运行时间

如果对 EUT 已规定了额定运行时间(在此期间能测量发射电平),那么其运行时间按铭牌上的规定,否则对运行时间不作限制。

6.4.3 预运行时间(running-in time)

如果没有给定预运行时间,在试验之前,EUT 应运行足够的时间,以便保证其运行的状态和方式是寿命期限内的典型状态。对于某些 EUT 的特定试验条件可能规定在有关的设备说明书中。

6.4.4 电源

EUT 应在额定的电源电压下工作。如果骚扰电平随电源电压显著地变化,则应在 0.9 倍~1.1 倍额定电压下,重复那些测量。如果 EUT 的额定电压不止一种,应在产生最大骚扰的额定电压下进行试验。

6.4.5 运行状态

EUT 应在能在测量频率上产生最大骚扰的实际的条件下工作。

6.5 测量结果的说明

6.5.1 连续骚扰

- a) 如果骚扰电平不稳定,那么每次测量时,对测量接收机的读数观察时间应不少于 15 s,应记录下最高读数。对任何孤立的喀喇声,可忽略不计(见 GB 4343.1—2009 中 4.2)。
- b) 如果骚扰电平总体上是不稳定的,在 15 s 内显示的电平连续上升或下降的幅度超过 2 dB,那么应该在更长的时间内观察该骚扰电平,并且应按 EUT 正常使用的条件来对该电平作如下说明:
 - 1) 如果 EUT 是一个可以频繁开关的设备或者它的旋转方向可以反转,那么在每一个测量频率点上刚好接通或反转 EUT,并且在每次测量之后立即将它关断,在每一个测量频率上,应记录最初 1 min 内所获得的最大电平。
 - 2) 如果 EUT 在正常使用时要运转较长的时间,那么它在整个试验期间都应接通,在每一个测量频率上,只在获得稳定的读数[按照 a)的规定]后才记录该骚扰电平。
- c) 在试验中,如果 EUT 的骚扰特性从稳定变化到有一些随机特征,那么 EUT 应当按照 b)来试验。
- d) 测量要在整个频谱上进行,至少在具有最大读数的频点上作记录或者按照有关的产品标准要求频点进行测量和记录。

6.5.2 断续骚扰

对于辐射断续骚扰的测量目前没有要求。

6.5.3 骚扰持续时间的测量

为了正确测量和确定其是否为断续骚扰,必须知道骚扰的持续时间。骚扰的持续时间可以按照以下方法之一进行测量:

- 1) 将示波器连接到测量接收机的中频输出端口,以在时域内持续观测骚扰电平;
- 2) 不使用扫频(如:零跨度模式)模式,将 EMI 接收机或频谱仪调到骚扰频率点,以在时域内持续观测骚扰;
- 3) 使用基于 FFT 的测量接收机的时域输出端口。

确定合适测量时间的导则见 8.3。

6.6 连续骚扰的测量时间和扫频速率

6.6.1 概述

无论手动测量,还是自动测量或半自动测量,测量/扫频接收机的测量时间和扫频速率应设置在可以测得最大发射值的状态。特别是当用峰值检波器作预扫时,测量时间和扫频速率应根据 EUT 的发射情况作适当调整。第 8 章提供了如何进行自动测量的导则。

6.6.2 最短测量时间

表 1 中给出了最短测量(驻留)时间。表 1 是扫频接收机和基于 FFT 的测量仪器的最短测量(驻留)时间,表 B.1 给出的是频谱分析仪的扫频时间,它们都是针对连续波信号时的要求。因而,完整 CISPR 频段的最短扫频时间可由此计算得出,如表 2 所示。

表 1 4 段 CISPR 频段的最短测量时间 T_m

频段	最短测量时间 T_m	
A	9 kHz~150 kHz	10.00 ms
B	0.15 MHz~30 MHz	0.50 ms
C/D	30 MHz~1 000 MHz	0.06 ms
E	1 GHz~18 GHz	0.01 ms

表 2 使用峰值和准峰值检波器时的 3 段 CISPR 频段的最短扫频时间 T_s

CISPR 频段	峰值检波器的最短扫频时间 T_s	准峰值检波器的最短扫频时间 T_s	
A	9 kHz~150 kHz	14.1 s	2 820 s=47 min
B	0.15 MHz~30 MHz	2.985 s	5 970 s=99.5 min=1 h 39 min
C/D	30 MHz~1 000 MHz	0.97 s	19 400 s=323.3 min=5 h 23 min

表 2 为测量连续波信号的扫频时间。根据骚扰类型,可能需要增加扫频时间,尤其对准峰值测量。

在特殊情况下,例如观测到的发射电平不稳定时(见 6.5.1),则在某一频点的测量时间 T_m 可能增加至 15 s。但孤立的喀咧声除外。

附录 C 给出了使用平均值检波器的扫频时间和测量时间。

大多数产品标准采用准峰值检波进行符合性测量,若没有省时的程序(见第 8 章),测量十分耗时。在采用省时的程序之前,应进行预扫。为了确保在自动扫频过程中不遗漏如间歇信号等的发射,应考虑 6.6.3~6.6.5。

6.6.3 扫频接收机和频谱分析仪的扫频速率

在整个频率跨度内采用自动扫频时,应满足以下两条之一,以避免遗漏骚扰信号:

- 1) 单次扫描:每一频点的测量时间应大于间歇信号的脉冲间隔;
- 2) 采用最大值保持进行重复扫描:每一频点的观察时间应足够长,以捕捉间歇信号。

扫频速率受仪器分辨率带宽和视频带宽的限制。如果对给定的仪器状态选择的扫频速率太快,将会得到错误的测量结果。因此,对确定的频段应选取足够长的扫描时间。间歇信号可以由在每一频点有足够长观察时间的单次扫描或最大值保持的重复扫描来捕捉。对未知的发射信号,通常采用最大值保持的重复扫描更有效。只要频谱仪的显示有较大变化就有可能发现间歇信号。观察时间应根据骚扰信号发生的周期设定。在某些情况下,为避免同步影响,扫描时间有必要改变。

当使用频谱分析仪或 EMI 扫频接收机测量时,基于给定的仪器设置和峰值检波确定最小扫描时间,应区分下面的两种情况。若所选视频带宽大于分辨率带宽,用下式计算最短扫描时间:

$$T_{s \min} = (k \times \Delta f) / (B_{\text{res}})^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $T_{s \min}$ ——最短扫描时间;
- Δf ——频率跨度;
- B_{res} ——分辨率带宽;
- k ——比例常数,与解析滤波器的形状有关,对于同步调谐、近似高斯型滤波器,静态理论值为 2~3;对于近似矩形、参差调谐滤波器, k 值为 10~15。

若所选视频带宽小于或等于分辨率带宽,使用下面的表达式计算最短扫描时间:

$$T_{s \min} = (k \times \Delta f) / (B_{\text{res}} \times B_{\text{video}}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- B_{video} ——视频带宽。

大多数频谱分析仪和 EMI 扫频接收机根据选定的频段和带宽自动设定扫描时间。扫描时间会被调节以维持校准状态显示。若需要较长的观察时间,例如为了捕捉变化缓慢的信号,可重设自动扫描时间。

此外,对于重复扫描,每秒钟扫描次数由扫描时间 $T_{s \min}$ 和返回时间决定(即返回本机振荡器和储存测量结果的时间等)。

6.6.4 步进接收机的扫频时间

通常步进式 EMI 接收机用预定的步长连续调谐在各个频点上。当整个频段范围使用离散步进时,为了保证仪器准确测量输入信号,须确定每个频点的最小驻留时间。

实际测量时,频率步长大约小于或等于使用的分辨率带宽的 50%(取决于解析滤波器的形状),以减少因步长带来的对窄带信号测量不确定度。在这些假设下,步进式接收机的扫频时间可用下面的公式计算:

$$T_{s \min} = T_{m \min} \times \Delta f / (B_{\text{res}} \times 0.5) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$T_{m \min}$ ——每一频率的最小测量(驻留)时间。

此外,对于测量时间,有时还应考虑合成器开关转换频率的时间和系统储存测量结果的时间(这在大多数接收机中都能自动完成),以保证选择的测量时间对测量结果有效。另外,所选择的检波器,例如峰值或准峰值检波器,也会对确定时间周期有影响。

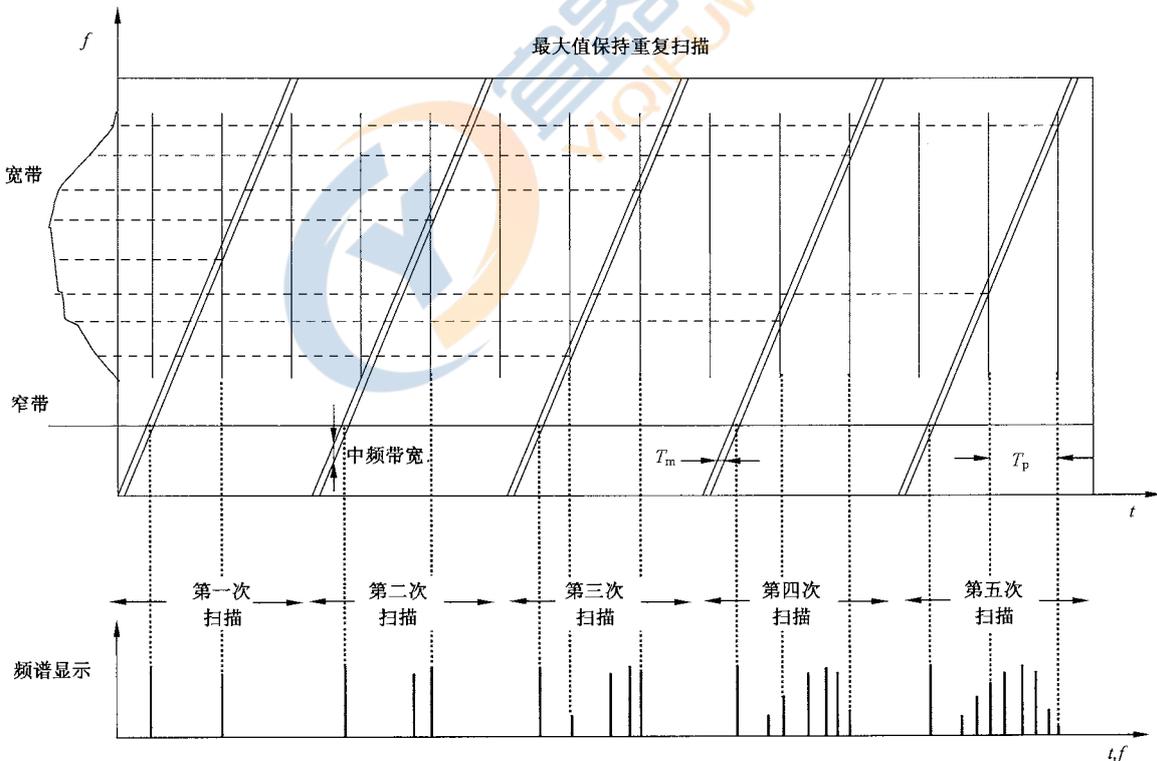
对于单纯的宽带发射,只要能找到发射频谱的最大值,频率步长可增大。

6.6.5 用峰值检波器获得整体频谱的方法

对于每次预扫频测量,应尽可能 100%地捕捉 EUT 所有频谱中关键的频谱分量。基于测量接收机的类型和骚扰的特性(包括窄带和宽带分量),通常采用以下两种方法:

- 步进扫频:每一个频率点的测量(驻留)时间应该足够长,以测得信号的峰值。例如,脉冲信号测量(驻留)时间应长于信号重复频率的倒数。
- 连续扫频:测量时间应大于间歇信号间隔(单次扫描),观察时间内的重复频率扫频次数应尽可能多,以提高捕捉到信号的概率。

图 1、图 3、图 4 所示是各种时域发射频谱和测量接收机显示的关系图,每个图的上半部分显示的是采用连续扫频或步进扫频的方式时,接收机带宽的状态。

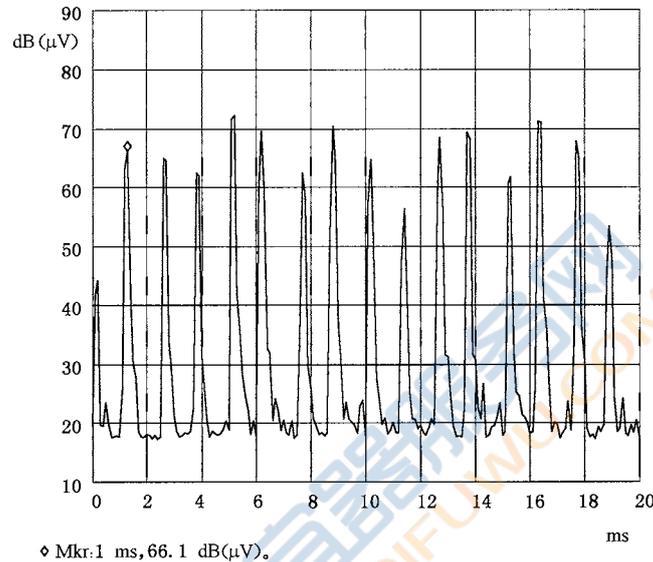


注： T_p 为脉冲信号的重复间隔。脉冲出现在频谱-时间图的每条垂直线上(图的上部)。

图 1 对包含有连续波信号(窄带)和脉冲信号(宽带)采用最大值保持方式重复扫描测量示意图

如果发射的类型未知,可用尽可能短的扫描时间和峰值检波进行重复扫描,以测定频谱的包络。短时的单次扫描足以测量 EUT 频谱中连续的窄带信号。对于连续的宽带信号和间歇窄带信号,在“最大值保持”功能下,用不同扫频速率进行重复扫描确定频谱包络。对于低重复的脉冲信号,应进行重复扫描以充填宽带分量的频谱包络。

为减少测量时间,需对被测信号进行时域分析。这可以用具有图象信号显示的测量接收机在零跨度模式下或用示波器接到接收机中频或视频输出端获得,如图 2 所示。

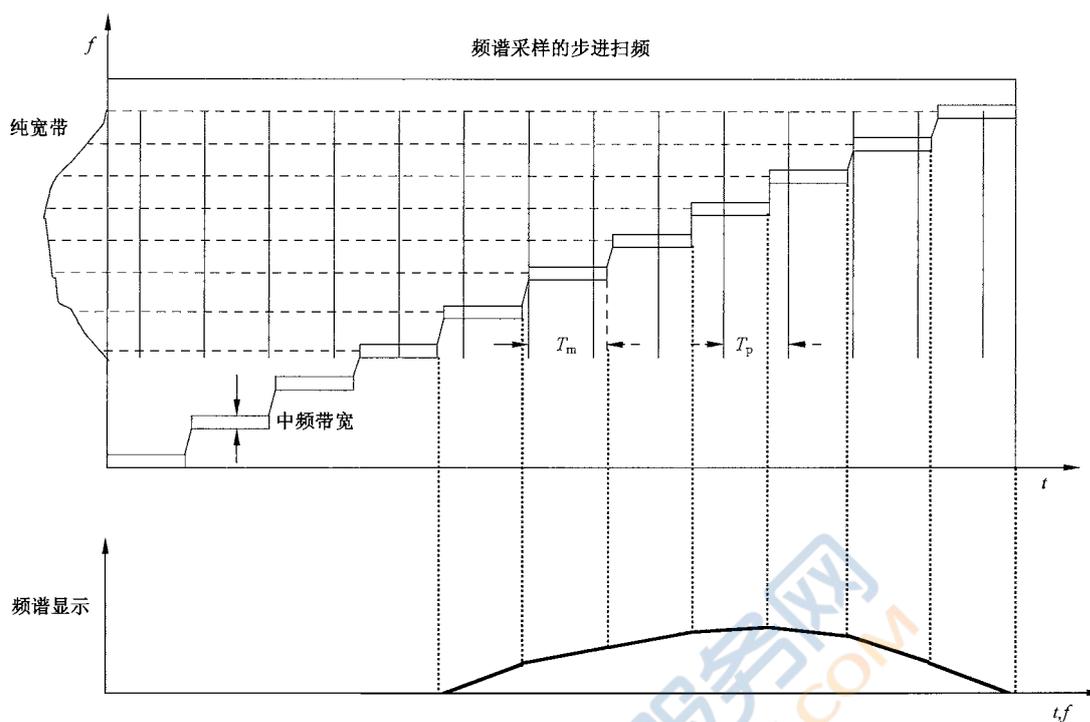


注:直流电机的骚扰:由于换向器换向片的数量多,脉冲重复率高(约 800 Hz),脉冲幅度变化大。因此在本例中推荐使用峰值检波器,测量(驻留)时间 >10 ms。

图 2 时域分析的示例

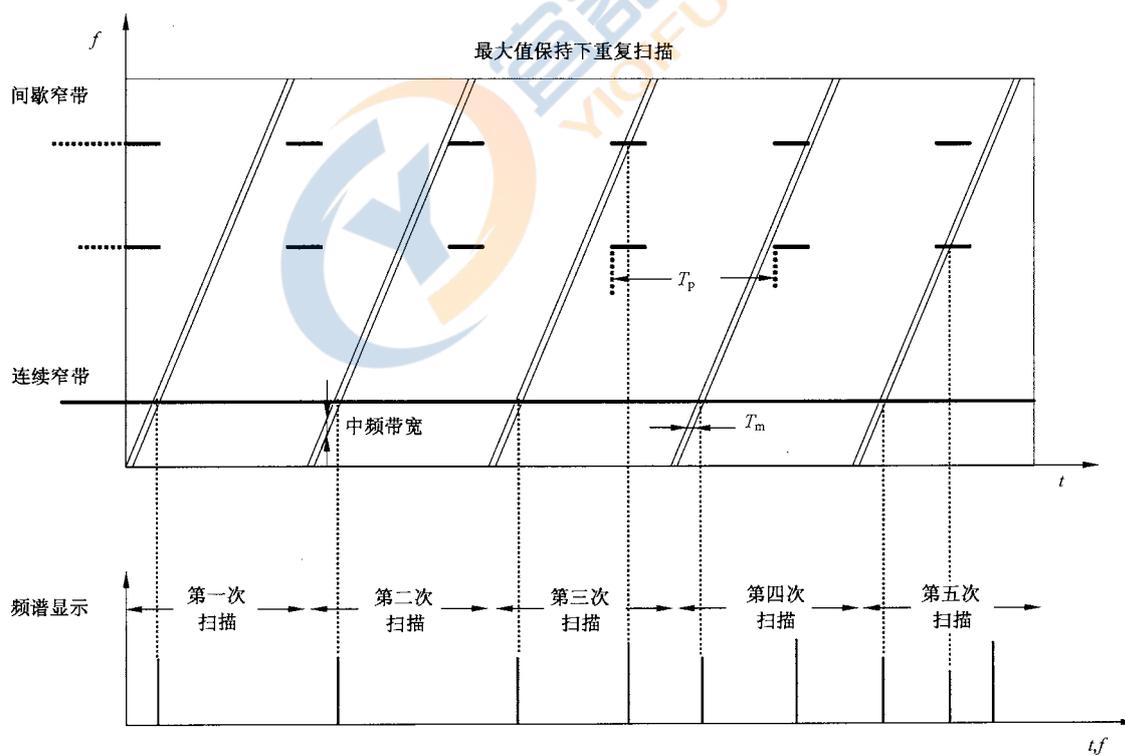
下述方法可用于确定脉冲间隔和脉冲重复频率以及选择扫频速率或驻留时间:

- 对于连续非调制窄带骚扰,可选用仪器设置的最快扫频时间。
- 对于纯连续宽带骚扰,例如,点火发动机、弧焊设备、带换向器的电机,为取得发射频谱可采用步进扫频(用峰值或准峰值检波器)。这样若知道骚扰类型,根据经验可用折线画出频谱包络线(见图 3)。应选择满足频谱包络中无明显变化被遗漏的步长。单次扫描测量(如果足够慢)也能得到频谱包络。
- 对于未知频率的间歇窄带骚扰,在“最大值保持”功能(见图 4)下,采用短时、快速扫频或慢的单次扫描。在实际测量前,需进行时域分析,以确认能获取正确信号。
- 间歇宽带骚扰应用 CISPR 16-1-1 中描述的断续骚扰分析程序进行测量。



注：测量(驻留)时间 T_m 应大于脉冲重复间隔 T_p (脉冲重复频率的倒数)。

图 3 步进式接收机进行宽带频谱测量



注 1：根据脉冲的持续时间和脉冲的重复间隔，扫描次数和扫描时间也可能需要增加。

注 2：在上例中，为到捕捉到所有的频谱分量需要 5 次扫描。

图 4 在最大值保持功能下使用短时/快速重复扫描测得的间歇窄带骚扰

6.6.6 使用基于 FFT 仪器时在测量时间方面的考虑

基于 FFT 的测量仪器组合了多频点并行计算和步进扫频。鉴于此,把涉及的频率范围划分成循序扫频的 N_{seg} 个子频段。图 5 给出了 3 个子频段的扫频过程。涉及的频率范围的总共的扫频时间 T_{scan} 可以计算如下:

$$T_{scan} = T_m \times N_{seg} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

T_m ——每一段的测量时间;

N_{seg} ——子频段数。

基于 FFT 的测量仪器也可以为给定频率范围内提高频率分辨率提供一种方法。通常,一个基于 FFT 的测量仪器会有一个固定的频率步进 $f_{step\ FFT}$ 。它是由 FFT 计算的频点数决定的。通过对给定频率范围的重复计算可以提高频率分辨率。每一次重复计算时,起始频率以步进率 $f_{step\ final}$ 增加一次。

因此,在给定频率范围的第一次计算时,考虑了以下频率:

- f_{min} ,
- $f_{min} + f_{step\ FFT}$,
- $f_{min} + 2f_{step\ FFT}$,
- $f_{min} + 3f_{step\ FFT}$,.....

整个给定频率范围的第二次计算,考虑以下频率:

- $f_{min} + f_{step\ final}$,
- $f_{min} + f_{step\ final} + f_{step\ FFT}$,
- $f_{min} + f_{step\ final} + 2f_{step\ FFT}$,
- $f_{min} + f_{step\ final} + 3f_{step\ FFT}$,.....

图 6 显示了适用于步进比为 3 时的过程。

扫频时间 T_{scan} 计算如下:

$$T_{scan} = (T_m \times f_{step\ FFT}) / f_{step\ final} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

T_m ——测量时间;

$f_{step\ FFT} / f_{step\ final}$ ——步进比。

对于结合两种方法的系统来说,扫频时间 T_{scan} 为:

$$T_{scan} = (T_m \times N_{seg} \times f_{step\ FFT}) / f_{step\ final} \dots\dots\dots (6)$$

注 1: 基于 FFT 的测量仪器可能会结合两种方法,步进扫频也是一个提高频率分辨率的方法。

注 2: 另外的背景信息见 GB/Z 6113.3。

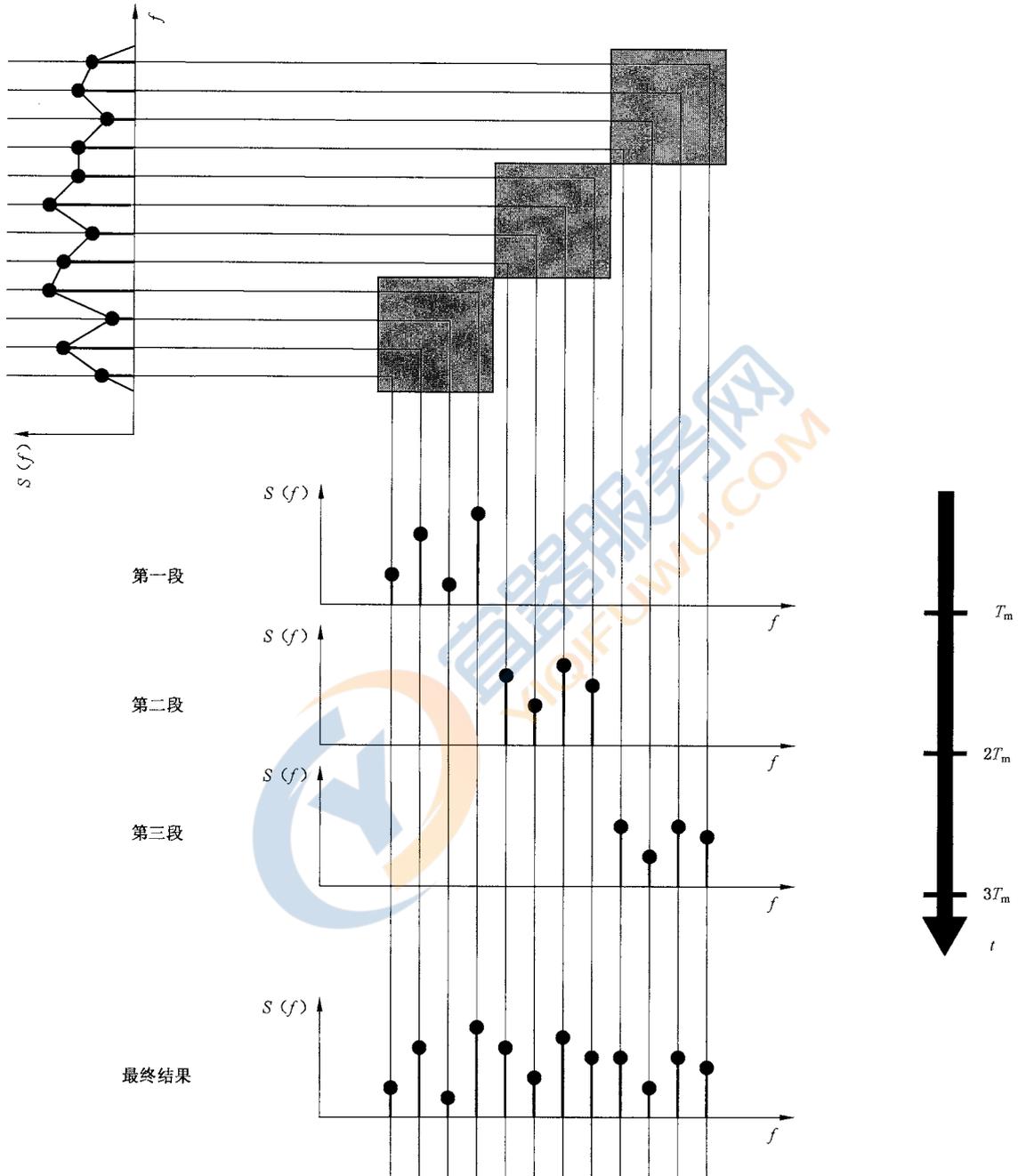


图 5 FFT 分段扫频

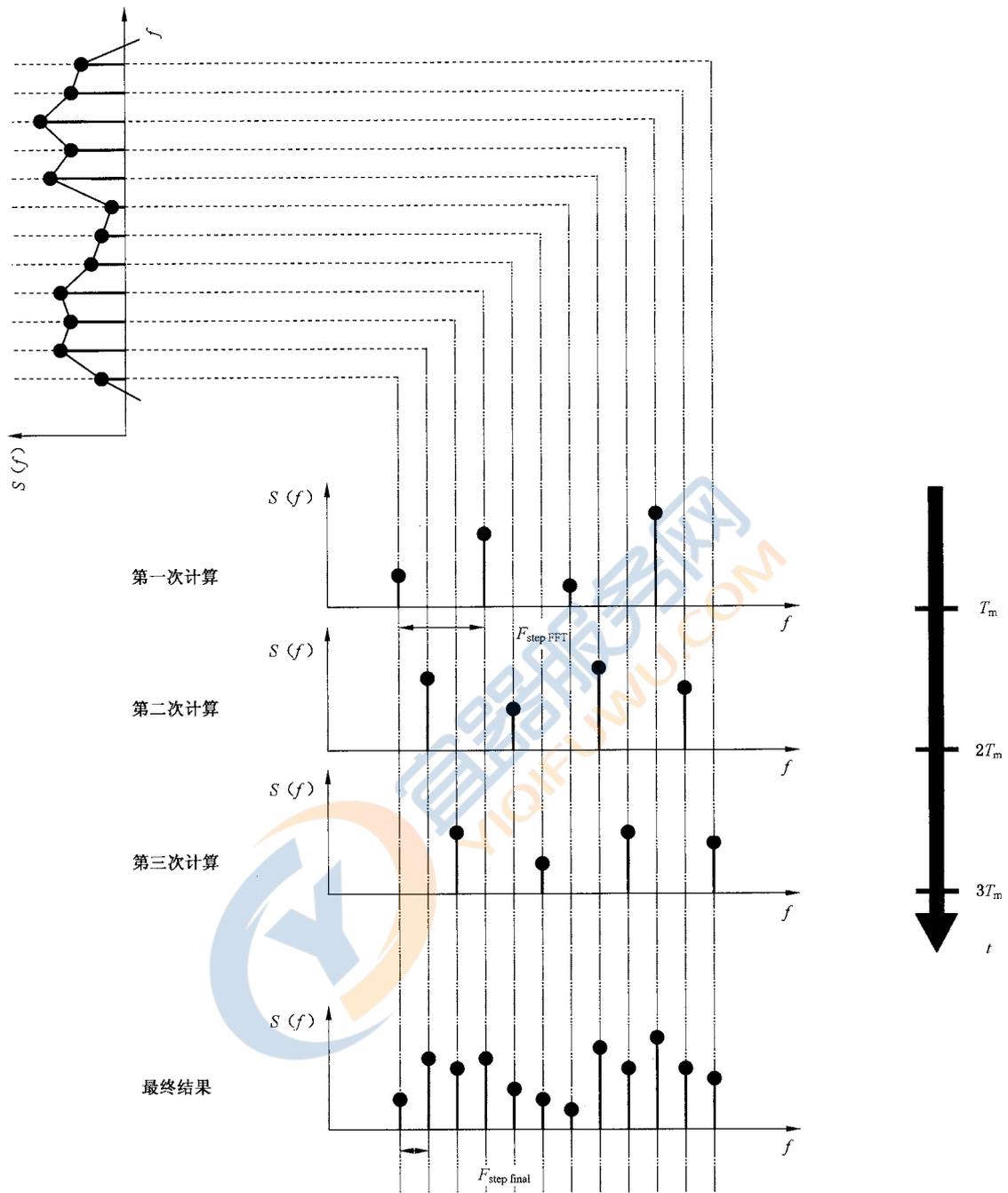


图 6 基于 FFT 的测量仪器提高频率分辨率的过程

7 辐射骚扰测量方法

7.1 概述

本章将规定设备和系统产生的无线电骚扰场强的通用测量方法。辐射骚扰测量的经验普遍少于于电压测量的经验。因此,随着知识和经验的积累,辐射骚扰测量方法要修订和扩展。特别要注意和 EUT 相关的导线及电缆的影响。表 3 提供了 CISPR 辐射发射试验场地和试验方法的总结列表,以及在本部分的子条款或其他文件间的交叉引用。

对有些产品,可能需要测量辐射骚扰的电场、磁场或这两个分量。有些时候,与辐射功率有关的定量测量则更为合适。通常,要测量骚扰相对于参考接地平面的水平分量和垂直分量。电场或磁场分量的测量结果一般用峰值、准峰值、平均值或有效值来表示。

骚扰的磁场分量通常只测到 30 MHz。在磁场测量中,当使用远场天线法时,只测量接收天线位置上场的水平分量。当使用环形天线(LAS)系统时,则测量 EUT 的 3 个正交的磁偶极矩。(注意在单天线法中,由于反射的作用,在天线位置场的水平分量是由 EUT 的水平和垂直偶极矩决定的。)

表 3 CISPR 辐射发射试验场地和试验方法的适用频率范围和参考文件

试验场地/试验方法	9 kHz~30 MHz	30 MHz~1 000 MHz	1 GHz~18 GHz
室外场地	tbd	7.3.8	n/a
环天线系统(LAS)	7.2	n/a	n/a
开阔试验场地或半电波暗室	tbd	7.3	n/a
全电波暗室	n/a	7.4	7.6
RE/RI 共用场地	n/a	7.5 RI 起始频率为 80 MHz	n/a
铺有吸波材料的开阔试验场地	n/a	n/a	7.6
现场	7.7.2	7.7.3,7.7.4.2	7.7.3,7.7.4.3
替换法	n/a	7.8	7.8
混响室	n/a	7.9(起始频率为 80 MHz)	7.9
TEM 波导	IEC 61000-4-20	7.10	7.10
n/a=不适用;tbd=将要确定或正在考虑中。			

7.2 环天线系统(LAS)测量(9 kHz~30 MHz)

7.2.1 概述

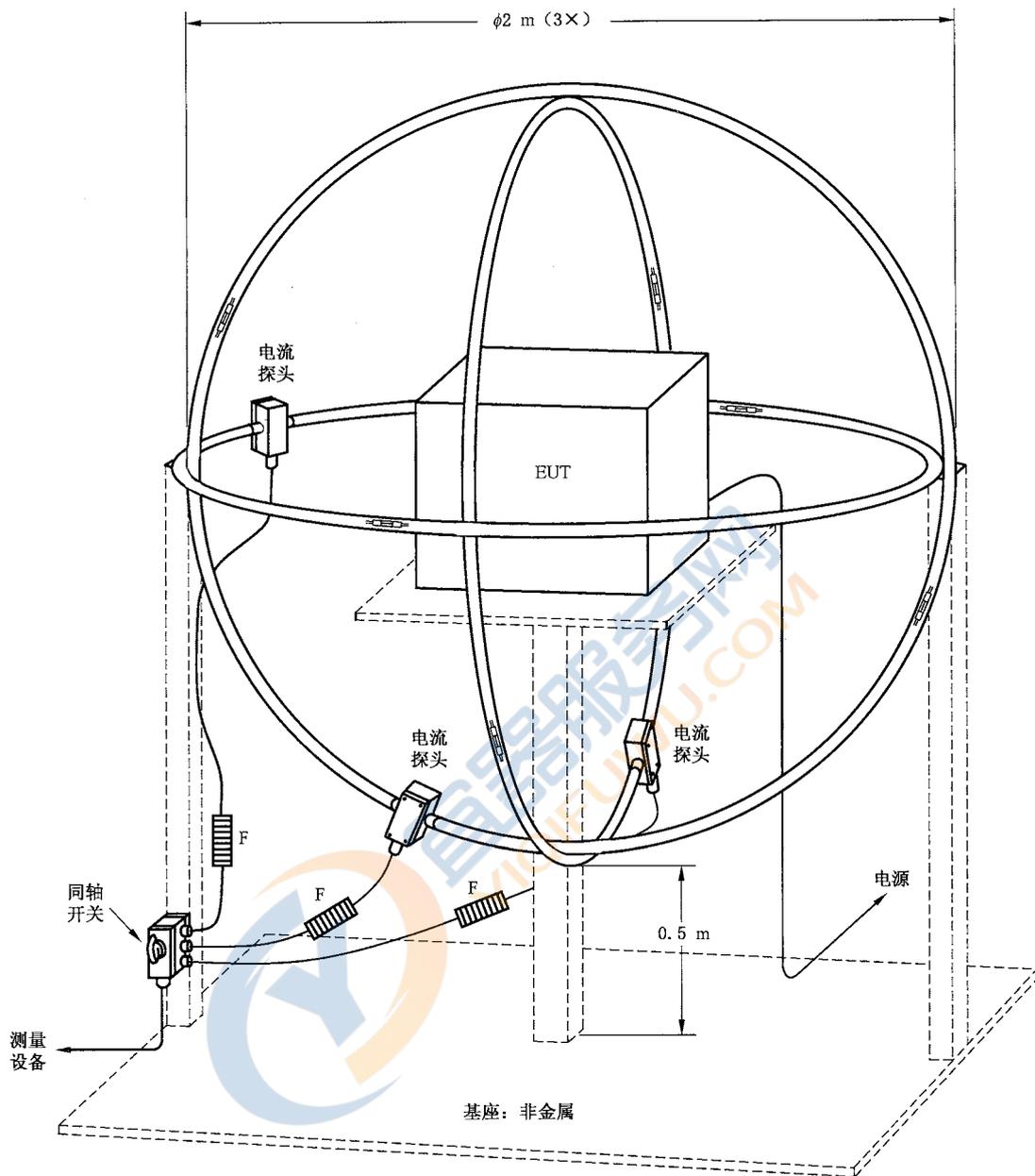
本章叙述的环天线系统(LAS)适用于在室内测量频率范围为 9 kHz~30 MHz 由单个 EUT 发射的磁场强度。该磁场强度是根据 EUT 的骚扰磁场在 LAS 中感应到的电流来测量的。LAS 应用 CISPR 16-1-4:2010 中描述的方法验证其有效。CISPR 16-1-4:2010 全面描述了 LAS,并给出了用 LAS 所获得的测量结果和本章叙述的其他方法所获得的结果之间的关系。

7.2.2 一般测量方法

LAS 测量的一般原理如图 7 所示。EUT 放置在 LAS 的中心。由 EUT 的磁场感应到 LAS 中 3 个大环天线的电流,用与测量接收机(或等效仪器)相连接的大环天线上的电流探头来测量。在测量期间 EUT 要保持在固定位置上。

依次测量 3 个相互正交的磁场分量在 3 个大环天线内所产生的电流。所得的电平都应符合产品(类)EMC 标准中所规定的发射限值,并用 dB(μ A)表示。

发射限值适用于标准直径为 2 m 的 LAS 大环天线。



说明：

F——铁氧体吸收装置。

图 7 用环天线系统进行磁场感应电流测量的原理图

7.2.3 试验环境

LAS 的外径与周围物体(如地板和墙壁)之间的距离至少应为 0.5 m 。由射频环境场强在 LAS 内感应的电流应按 CISPR 16-1-4:2010 进行判断。

7.2.4 EUT 的布置

为了避免 EUT 与 LAS 之间的无用电容性耦合, EUT 的最大尺寸应使 EUT 与 LAS 的标准直径为 2 m 的大环天线之间至少有 20 cm 的距离。

为了得到最大的电流感应值, 应选择最佳的电源线位置。一般, 当 EUT 符合传导发射限值时, 这

个位置不应是临界位置。

在大型 EUT 情况下, LAS 的大环天线直径可能要增加到 4 m, 在那种情况下:

- a) 测得的电流值应按照 GB/T 6113.102—2008 中 B.6 来校正;同时,
- b) EUT 的最大尺寸应使 EUT 与大环之间的距离至少保持 $0.1 \times D$, D 是非标准的大环直径(单位为米)。

7.2.5 LAS 的测量不确定度

CISPR 16-4-1 中给出了辐射发射测量不确定度的一般和基本考虑。

7.3 开阔试验场或半电波暗室测量(30 MHz~1 GHz)

7.3.1 被测量

被测量是 EUT 发射的最大电场强度, 该被测量由水平极化、垂直极化、在 1 m~4 m 高度的变化范围、10 m 的测量距离、需要水平 360° 旋转 EUT 共同决定。该量由下述条件确定:

- a) 频率范围: 30 MHz~1 000 MHz;
- b) 被测量场强的单位: 对应于限值的单位;
- c) SAC/OATS 试验场和试验桌应符合 CISPR 规定要求;
- d) 测量接收机满足 CISPR 16-1-1 的要求;
- e) 可替换的测量距离, 如 3 m 或 30 m 代替 10 m, 应符合可替换的测量方法;
- f) 测量距离是 EUT 边界和天线参考点之间的在地平面上的水平投影距离;
- g) EUT 应根据标准规定的方法进行布置和操作;
- h) 应使用自由空间的天线系数。

被测量 E 由最大电平读数 V_r 和自由空间天线系数 F_a 导出, 见式(7):

$$E = V_r + A_c + F_a \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- E ——被测电场强度, 单位为 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$;
- V_r ——被测量最大接收电压, 单位为 $\text{dB}(\mu\text{V})$;
- A_c ——天线和接收机之间的电缆损耗, 单位为 dB ;
- F_a ——接收天线的自由空间天线系数, 单位为 $\text{dB}(\text{m}^{-1})$ 。

注: 自由空间天线系数是天线的特性参数。应注意, 场强测量应在接地平面上, 而不是在自由空间环境中。

7.3.2 试验场地要求

试验场地的物理特性和电特性及校验应符合 CISPR 16-1-4:2010 的规定。

7.3.3 通用测量方法

图 8 表示在直射波和地面反射波到达接收天线的情况下, 在开阔试验场或半电波暗室进行测量的原理图。

EUT 应放在地平面以上规定的高度, 并模拟正常运行状态来布置。天线按规定的距离放置。在水平面内旋转 EUT 并记下最大的读数。再调节天线高度, 使直射波和反射波接近或达到同相叠加。这些程序性步骤可以变换, 也可能需要重复, 以便找出最大骚扰。由于一些实际原因, 高度变化会受到限制, 因此可能达不到完全同相叠加。

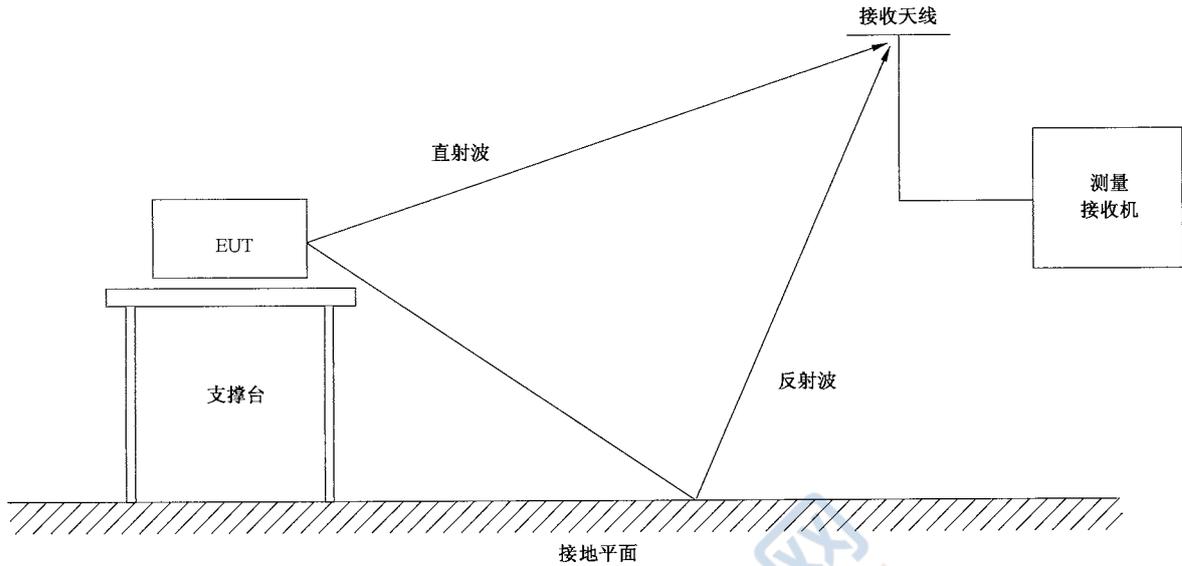


图 8 开阔试验场(OATS)或半电波暗室上直射波和反射波到达接收天线的情况下测量电场强度的原理图

7.3.4 测量距离

EUT 应在确定辐射骚扰限值的那个规定距离上进行测量,除非因为设备的大小等因素而不能这样做。测量距离是 EUT 最接近于天线的那一点和天线的校准参考点在地面上的投影之间的距离。如果天线的参考点在校准报告中没有定义,那么对于对数周期天线,它的校准参考点是位于水平天线杆的中心,相应偶极子对应于天线频率范围的中心频率的半波长。

注:天线的中心频率定义为: $\lg(f_{\text{centre}}) = (\lg f_{\text{min}} + \lg f_{\text{max}}) / 2$; $f_{\text{centre}} = 10^{\lg(f_{\text{centre}})}$ 。

在大多数的室外场地情况下,优先采用 10 m 距离,因为在这个距离上预计的被测骚扰电平会远高于允许进行试验的一般环境电平。通常不采用小于 3 m 或大于 30 m 的距离。如果有必要采用规定以外的测量距离,那么应当采用产品(类)EMC 标准中规定的方法来外推测量结果。如果没有给出指南,则应提供适当的外推理由。一般,外推法并不遵循简单反比距离的定律。

在可能的场合下,应在远场条件下进行测量。远场区可以由下列条件来确定:

测量距离 d 选择为:

- $d \geq \lambda / 6$, 在此距离上 $E/H = Z_0 = 120\pi = 377 \Omega$ 。即电场强度分量和磁场强度分量是互相正交的。如果该 EUT 被认为是一个调谐的偶极子天线,则测量误差约为 3 dB;或
- $d \geq \lambda$, 作为平面波的条件,如果 EUT 被认为是一个调谐的偶极子天线,则误差约为 0.5 dB;或
- $d \geq 2D^2 / \lambda$, 式中, D 为 EUT 的最大尺寸,或为照射 EUT 所需的最小天线口径(这里 $D \gg \lambda$)。

7.3.5 天线高度变化

对于电场强度测量,天线距离地平面的高度应在规定的范围内变化,以便获得直射波和反射波同相位时会出现的最大读数。作为一般规律,对于测量距离小于或等于 10 m 时,在测量电场强度时天线高度最好在 1 m~4 m 之间变化,在 30 m 以下的较大测量距离时,天线高度最好在 2 m~6 m 之间变化。为了获得最大的读数,可能要把地面以上的天线最小高度调低到 1 m,这些高度扫描适用于水平极化和垂直极化,只是对于垂直极化,最小高度应调到使天线的最低点离开场地地面至少为 25 cm。

7.3.6 产品标准的具体规定

7.3.6.1 概述

除了规定详细的测量方法和被测骚扰参数以外,产品标准还应包括下述的其他有关细节。

7.3.6.2 试验环境

应考虑试验环境的影响,以便保证 EUT 的正常功能。应规定物理环境的重要参数,如温度和湿度。

应专门考虑电磁环境以保证骚扰测量的准确性。当 EUT 不通电时,在试验场测到的环境噪声和信号电平至少应低于限值 6 dB。一般认为这一要求并不是在所有频率上总可以实现。然而,只要测得的环境电平加上 EUT 的无线电噪声发射仍不超过限值,就认为 EUT 符合限值。关于环境电平和产生测量误差的进一步指南参见 6.2.2 和附录 A。

如果在规定的测量范围内一些频率上的环境电平超过了限值,那么可以采用下列替换方法:

- a) 在较近的距离上进行测量,再将结果外推到规定限值的那个距离上,外推公式应是产品(类) EMC 标准中推荐的,或是在不少于 3 个不同距离上经测量验证过的。
- b) 在广播电台停播和工业设备的环境电平较低时,在原先环境电平超过规定的频段上进行测量。
- c) 在屏蔽室或装有吸波材料的屏蔽室内,把试验频率上 EUT 的骚扰幅度与邻近频率上的骚扰幅度进行比较,可以用测到的邻近频率的骚扰幅度作为比照来估计试验频率上 EUT 的骚扰幅度。
- d) 在确定开阔试验场的轴线时,要考虑强环境信号的方向,以便使试验场上的接收天线的方向性尽可能地区分出这样的强信号。
- e) 对于发生在射频信号附近的 EUT 窄带骚扰,在二者都落入标准带宽内时,可能要用较窄的仪器带宽进行测量。

7.3.6.3 EUT 的布置

应规定 EUT 的工作条件,例如,输入信号的特性、运行的方式、部件的安置、互连电缆的型号和长度等。

试验单个或多个部件的系统应满足下列两个条件:

- a) 系统按典型应用的情况布置;
- b) 系统要按产生最大骚扰的方式布置。

术语“系统”是指 EUT 及与 EUT 相连的部件和所有需要连接的电缆的组合。

术语“布置”是指组成该系统的 EUT、系统的其他部件、互连电缆以及电源线的定位或取向。在所有的测量中,系统的布置都应调整到使上述两个条件满足[首先满足条件 a),然后满足条件 b)]。

术语“典型的”用来描述 EUT 实际使用中是如何布置的。建立典型布置的指南概述如下。

对于被设计成多单元系统组成部分的设备,应按照制造商的说明书将 EUT 安装成典型系统并加以布置。它也应代表典型使用的方式来运行。在整个试验期间,EUT 和所有的系统部件都应工作在典型应用的范围内,获得各个骚扰的最大值的状态。

接口电缆应连接到 EUT 的每一个接口端口,应测量每一根电缆位置变化时产生的影响,以便找到某种使实际应用中由它的典型布置所限定的情况下各个骚扰能达到最大值的试验布置,如果少数这样几根电缆的布置会引起所测量的整个频段内的最大辐射,则操作的次数可能是有限的。

接口电缆应是设备制造商所规定的电缆类型和长度。各电缆的任何超长部分应在电缆中心附近以 30 cm~40 cm 长的线段分别地捆扎成 S 形。如果由于电缆粗大或刚硬,或因为要在用户设备现场进行

试验而不能这样处理时,则对电缆超长部分的处理可以由试验工程师自行决定,并应在试验报告中加以说明。对超长电缆的不同要求,可以在产品(类)EMC标准中作出规定。

电缆不应放置在 EUT 的底部、顶部或系统部件上(除非这样放置是适当的),例如,电缆应按常规通过架空电缆架或接地平面下方走线。只有在符合典型应用的情况下才应将电缆紧靠着 EUT 外壳和所有的系统部件放置。应在各种不同的运行状态下对 EUT 进行试验。

对于台式设备,应将 EUT 放置在一个台面大小适合的绝缘台上进行辐射发射试验,绝缘台应放在一个由绝缘材料制成的可以遥控的旋转平台上,旋转平台的台面通常高出接地平面不到 50 cm,绝缘台和旋转平台的高度合起来高出接地平面 80 cm。如果旋转平台和接地平面一样高,则旋转平台的表面应该是导电的,而 80 cm 的高度是相对于旋转平台的台面来测量的。通常放置在地面上的 EUT 将放置在地面上试验。在这种情况下,应采用与接地平面齐平的旋转平台。通常既可放在地面又可放在桌面的 EUT 应当作台式设备进行试验。

应按照制造商的要求和使用条件将 EUT 接地,如果 EUT 工作时不接地,试验时也不接地。当 EUT 带有接地端或实际安装条件下被连接到内部接地线,则接地线或接地点应连接到接地平面(或作为大地的设施)上,来模拟实际的安装条件。任何内部接地线,包括 EUT 交流电源线插头端的任何内部接地线都应当通过电源设施与地连接。除在制造商要求的接地位置外,落地式 EUT 应使用厚度不大于 15 cm 的非导电材料与接地平面绝缘。

7.3.7 测量设备

所有的测量设备(包括天线)都应符合 CISPR 16-1-1 和 CISPR 16-1-4:2010 的有关要求。

7.3.8 在其他室外场地测量场强

对某些产品,例如,ISM 设备和机动车辆,由于一些实际的原因,可能必须另外规定室外场地,它们类似于开阔试验场但没有任何金属接地平面。7.3.4~7.3.7 中作出的规定仍然适用。

7.3.9 OATS 和 SAC 的测量不确定度

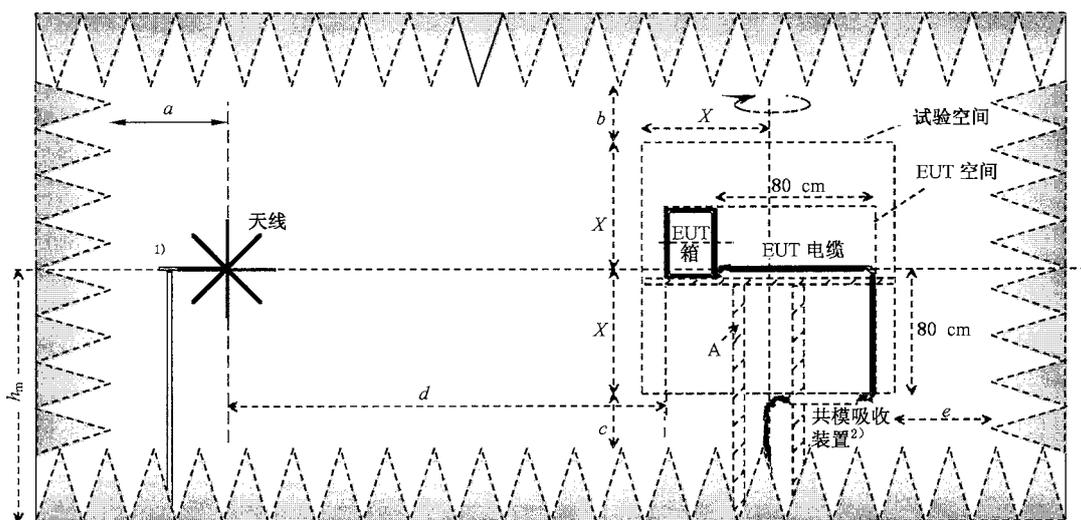
CISPR 16-4-1 给出了辐射发射测量不确定度的一般和基本考虑。CISPR 16-4-2 给出了有关 OATS 或 SAC(30 MHz~1 GHz)辐射发射测量不确定度的具体介绍。

7.4 全电波暗室的测量(30 MHz~1 GHz)

7.4.1 试验装置和场地尺寸

应使用与 FAR 校验相同类型的接收天线进行 EUT 发射测量。天线的高度固定在试验空间的几何中心高度。接收天线分别在水平极化和垂直极化下进行测量。EUT 放置在转台上,当不要求连续旋转时,转台应至少在 3 个方位(0° , 45° , 90°)上进行测量。图 9 给出典型的 FAR 场地几何形状和相关尺寸。

将 EUT 放置在转台上,图 9、图 10、图 11 是 FAR 中不同尺寸 EUT 的示意图。在校准中,转台、天线塔和支撑地应在适当位置,组成材料大部分为电磁波透明体。距离 a 、 b 、 c 和 e 由试验空间尺寸限定。底平面的高度(吸波材料的高度 + c)即为放置落地式设备的高度(转盘的高度在试验空间外)。



说明:

A ——转台和 EUT 支撑物;

2X ——例如 1.5 m, 2.5 m, 5 m, 与试验距离对应(分别对应为 3 m, 5 m, 10 m);

h_m ——试验空间的中心高;

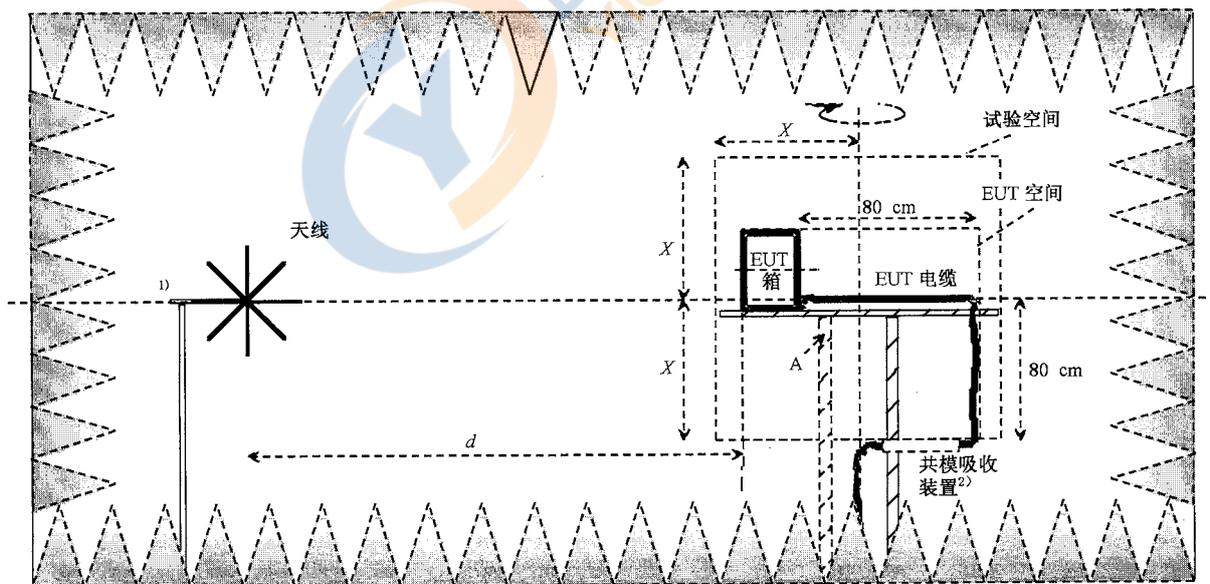
a, b, c 和 e ——大于 0.5 m(大于 1 m 更适宜), 实际值应符合 CISPR 16-1-4:2010 中的 FAR 校准程序;

d ——3 m, 5 m 或 10 m。

1) EUT 试验中天线和电缆应一起校验且实际试验布置应与校验时的布置一致。

2) 共模吸收装置根据相关的产品标准使用。使用情况(如果需要)应在试验报告中给出。

图 9 典型的 FAR 场地尺寸(图中 a, b, c 和 e 取决于暗室的性能)



说明:

A ——转台和 EUT 支撑物;

2X ——1.5 m, 2.5 m, 5 m;

d ——3 m, 5 m 或 10 m(分别对应的试验距离为 3 m, 5 m, 10 m)。

1) 天线电缆的布置应与场地校验中的布置相同(见图 9)。

2) 共模吸收装置根据相关的产品标准要求使用, 使用情况(如果需要)应在试验报告中给出。

图 10 FAR 试验空间内台式设备的典型试验布置

测量距离是指由天线参考点到 EUT 边界的距离。如果天线参考点和相位中心不同,应使用修正系数以获得该距离上的场强。

修正系数 C_{dr} , [见式(8)] 叠加在场强上, 以减少不确定度。在天线校准程序中, 需测量每个频点的相位修正系数 C_{dr} 。测量程序由天线校准或对数周期参数的物理间距计算确定。与天线系数 (F_a) 合并。这两个系数 (C_{dr} 和 F_a), 单位为 dB, 加到天线输出端的电压上便得到场强, 见式(9)。若未包括相位中心修正, 不确定度的估算应考虑其附加影响。

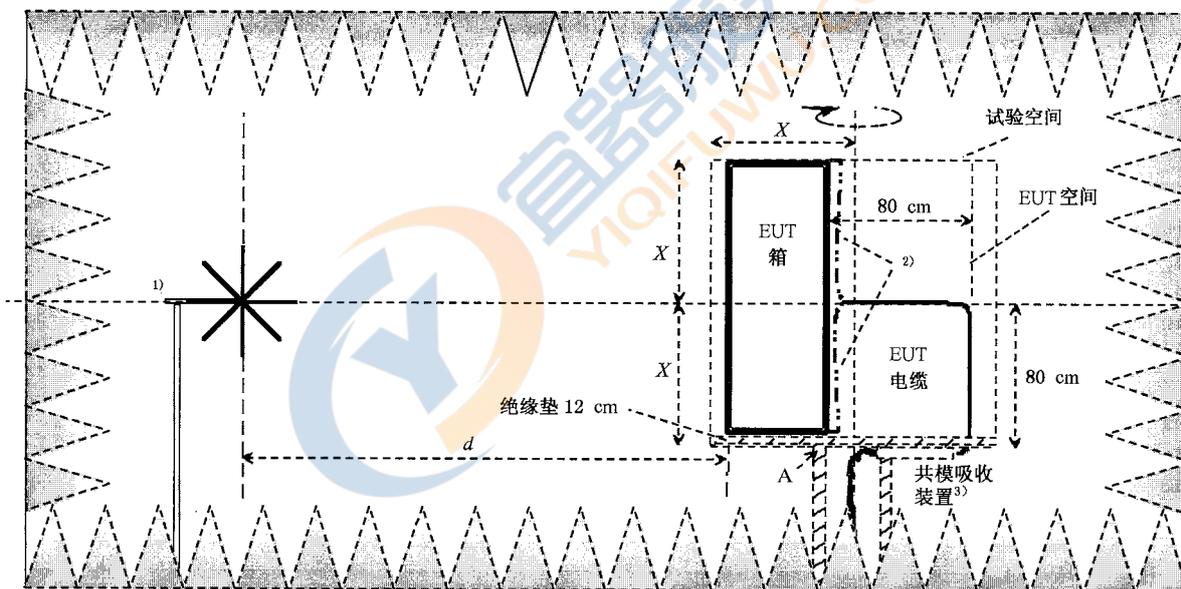
$$C_{dr} = 20 \log[(d + P_f - r)/d] \quad \dots\dots\dots (8)$$

电场强度由式(9)得出:

$$E_f = V_f + F_a + C_{dr} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- d —— 天线参考点到 EUT 边界点的距离, 单位为米(m);
- P_f —— 相位中心位置, 它是频率的函数, 单位为米(m) (由天线顶端算起);
- r —— 天线参考点到天线顶端的距离, 单位为米(m);
- E_f —— 距源为 d 米处的电场, dB(μ V/m);
- V_f —— 频率 f 处天线输出端的电压, dB(μ V);
- C_{dr} —— 相位中心修正系数, 单位为分贝(dB);
- F_a —— 相位中心处电场的天线系数(自由空间), dB(m^{-1})。



说明:

- A —— 转台和 EUT 支撑物;
- 2X —— 1.5 m, 2.5 m, 5 m;
- d —— 3 m, 5 m 或 10 m, 分别对应的试验距离为 3 m, 5 m, 10 m。
- 12 cm (10 cm~14 cm) 的绝缘垫为金属和木质接地面的折衷距离。
- 1) 天线电缆的布置应与场地校验中的布置相同(见图 9)。
- 2) 电缆布置取决于电缆插座的位置, 并应尽可能地靠近试验空间外壳表面。
- 3) 共模吸收装置根据相关的产品标准要求使用。使用情况(如果需要)应在试验报告中给出。

图 11 FAR 试验空间内落地式设备的典型布置

7.4.2 EUT 位置

图 10 和图 11 分别表示典型的台式设备和落地式设备在 FAR 内的试验布置。EUT 以典型的模式

配置、安装、布置和运行。整个 EUT 应安装在试验空间内。那些 EUT 运行所需要但不是 EUT 的组成部分的 EUT 辅助设备应放置在屏蔽室外。

EUT 每个类型的接口均应连接电缆。如果 EUT 由多个独立的装置组成,各装置之间应按常规情况保持距离,如可能,应保持 10 cm 间距。内部连接电缆应捆扎成束。电缆束长度应为 30 cm~40 cm,电缆束应顺着电缆的方向布置。

为了提高测量的重复性,应考虑以下内容:

- a) EUT(包括根据 7.4.3 布置的电缆)应放置在其中心与试验空间中心高度相同的位置。可使用合适高度的非导体支撑物来保持该高度。
- b) 当实际情况不允许将大型的 EUT 抬高到试验空间的中心时(见图 9 和图 10),EUT 在试验时应放在一个绝缘垫上(见图 11),绝缘垫的高度应在试验报告中给出。

某些落地式设备的安装规范要求设备安装并直接固定在导电地板上。在 FAR 中进行落地式设备测量时应注意以下方面:如果对于安装并直接固定在接地平板上的落地式设备的测量结果与 FAR 的发射限值不符合,则在较好模拟其最终安装环境的接地平板上进行测量,实际的发射可能会降低。当发射频率在 200 MHz 以下、水平极化、其发射源来自设备距地面小于或等于 0.4 m 的位置时会出现这种情况。因此,在判定 FAR 中测量不符合前,建议在有接地平板试验环境进行附加试验(例如,OATS 或 SAC),因为这样更接近设备的实际安装情况。

7.4.3 电缆布置和端接

当单独的 EUT 在不同的试验场地测量时,通常由于电缆布置和端接的不同,EMC 试验结果的复现性差。下面列出的是一般的试验布置条件以提高复现性(见图 10 和图 11)。理想的情况是所有被测的辐射都是由试验空间发出的。试验中应使用生产商规定的电缆。如果电缆端接不可用则 EUT 可使用无端接电缆。在试验报告中应清晰说明试验中使用的电缆和端接规格:

- a) 连接到 EUT、外围设备或供电电源的电缆应包括在试验空间内部的(见图 10 和图 11)0.8 m 的水平走线和 0.8 m 的垂直走线(没有任何捆绑)。任何电缆长度超过 $1.6 \times (1 \pm 5\%)$ m 的部分都应布置在试验空间的外部。
- b) 若生产商规定的电缆长度短于 1.6 m,电缆的长度尽可能一半为水平,而另一半为垂直布置。
- c) 在试验中,未连接的 EUT 辅助设备的电缆,应作适当的端接:
 - 1) 同轴(屏蔽)电缆端接匹配阻抗(50 Ω 或 75 Ω)。
 - 2) 一芯以上的屏蔽电缆应按照生产商的规定配备共模(线对参考地)和差模(线对线)端接负载。
 - 3) 非屏蔽电缆应按照生产商的规定配备共模和差模端接负载。
- d) 如果 EUT 需要 EUT 辅助设备来使其运行正常,应考虑 EUT 辅助设备应对辐射发射测量无影响。如有可能,EUT 辅助设备应放置在屏蔽室外。应考虑防止在 FAR 内通过连接电缆的 RF 泄漏。
- e) 试验布置包括电缆布置、连接电缆和端接负载的规格及测量时试验空间外部电缆长度的发射对测量结果影响的抑制措施(例如铁氧体钳的使用)等在不同的产品标准中规定。

由于 EUT 的性质不同,产品标准可根据实际情况考虑本条款的某些要求(例如,IEC/CISPR 22:2006 [3]中的 10.5)。

7.4.4 FAR 的测量不确定度

在 CISPR 16-4-1 中给出了关于发射测量不确定度的一般和基本考虑。CISPR 16-4-5 给出了替换试验方法的使用条件。CISPR 16-4-2 给出了一个在 FAR 中 3 m 距离发射测量不确定度预评估的例子。

7.5 在半电波暗室中的同一试验布置时的辐射发射测量方法(30 MHz~1 GHz)和辐射抗扰度测量方法(80 MHz~1 GHz)

7.5.1 适用性

作为辐射发射和辐射抗扰度不同试验布置的替换,产品委员会可依照本条款的规定,对两种试验使用相同的试验布置。本条款中描述的试验布置是适用于 EUT 的辐射发射和辐射抗扰度试验的布置,该布置在技术上证明是合理的。这个试验布置被认为是最适用于简单配置的 EUT,如单一外壳,小外壳的组合,少于 5 根电缆连接的 EUT。这种替换的试验布置适用于产品辐射标准中许可进行 3 m 距离辐射试验的 EUT。

为了达到场均匀性,则辐射抗扰度试验可能要在使用吸波材料覆盖 EUT 到发射天线之间的部分地平面时(见 IEC 61000-4-3:2006)进行(如,铺有吸波材料的半电波暗室,类似的铺有吸波材料的 OATS)。对于发射测量,地面未铺设吸波材料的半电波暗室的归一化场地衰减特性应满足 CISPR 16-1-4:2010 的要求。

7.5.2 EUT 边界的定义和天线到 EUT 之间的距离

辐射发射和辐射抗扰度试验时,接收或发射天线应位于距 EUT 中心水平距离 3 m 再加上 EUT 最大宽度的一半的距离。天线参考点是一个用于确定天线与 EUT 之间距离的特定参考点。如果未规定参考点,参考点是沿着天线水平方向偶极子天线单元被测最高频率和最低频率所对应的半波振子中心连接上的点。

注:对于对数周期天线,制造商可规定参考点。

通过覆盖 EUT 的虚拟(假想的)最小矩形周界定义 EUT 的边界。所有系统内部电缆应该包括在周界之内(见图 12),这个边界的每一边应处于 EUT 4 个平面内的任何一个面,与抗扰度校准的均匀场域(UFA)共面(可能重合),且与试验距离有关。

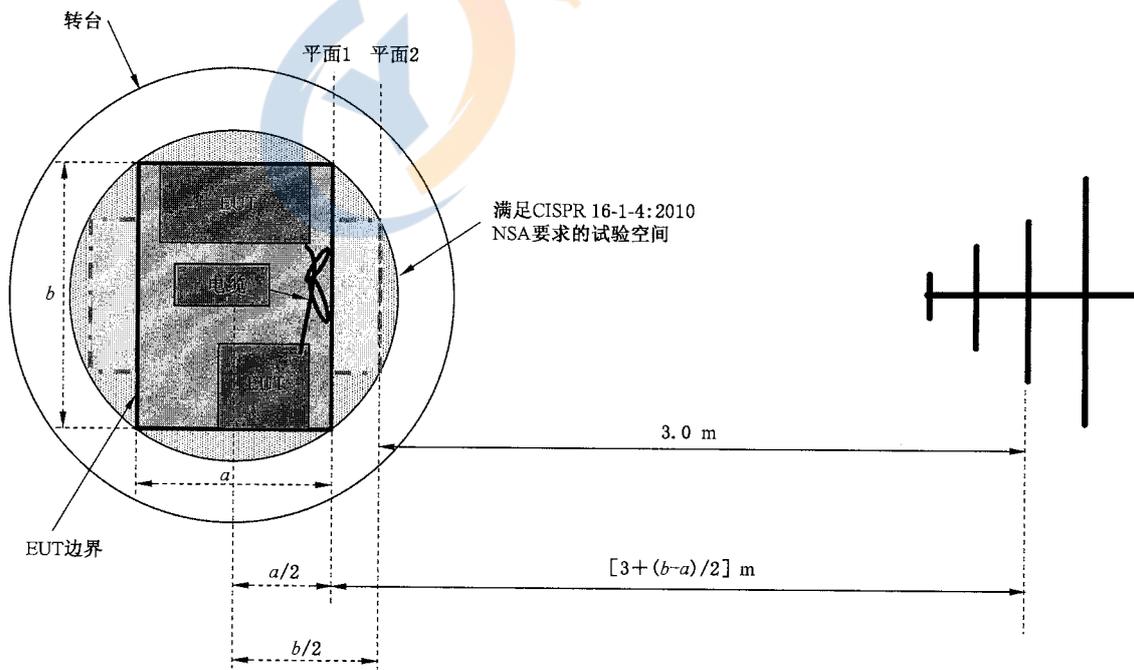


图 12 均匀场校准参考平面位置(俯视图)

7.5.3 均匀场试验空间

均匀场试验空间通过下面的条件定义：

- EUT 及其外围设备(如周边设备和电缆)应该纳入试验空间,该试验空间满足 CISPR 16-1-4:2010 场地确认要求。见 CISPR 16-1-4:2010 辐射测量替换试验场地的确定程序。
- 依据 IEC 61000-4-3:2006 和本章所描述的要求,EUT 及其外围设备应纳入测量空间中,EUT 及其外围设备的每个面与均匀场域共面。

依据 IEC 61000-4-3:2006,在 EUT 具有不规则或者不对称边界时需使用两个天线距离校准场均匀域。在图 12 的示例中显示,该平面沿 EUT 的正面的长度 b (0° 方向),沿 EUT 的侧面的长度 a (90° 方向)。

为了给 EUT 提供一个最大宽度为 1.5 m 的均匀场域(UFA),可在以下条件下进行校准：

- 在与通过转台中心与天线轴向正交的垂直平面。
- 在转台中心正前方 0.75 m,与天线轴正交的平面。

EUT 被暴露的前端位于两个已校准的 UFA 之间时,可使用线性插值进行试验,假定：

- 对于两个面中的任意面,由 IEC 61000-4-3:2006 定义符合 -0 dB \sim +6 dB 原则的点的数量；
- 当对天线施加一个恒定的正向传输功率时,在两 UFA 满足 -0 dB \sim +6 dB 原则的点的平均场强与天线到 UFA 距离成反比。

P_{e1} 为转台中心的均匀场域(UFA)正向传输功率(对数形式),使用恒定功率校准法或恒定场强校准法进行评估。 P_{e2} 为转台中心正前方 0.75 m 的均匀场区域正向传输功率。对于 EUT 特定面要求的照射正向功率可以通过对 P_{e1} 、 P_{e2} 、及与天线的对应距离线性插补计算得到(对数形式)。对于其他测量的详解和描述,见 IEC 61000-4-3:2006 的 6.2 场校准。

EUT 边界尺寸的差别小于或等于 3 m 试验距离的 20%(即 0.6 m,或更小),只需在图 12 的平面 1 处(EUT 最宽的面)进行单个均匀域的校准。

注：当使用上述方法进行测量时,由于到发射天线的试验距离更近,EUT 的两个表面将被照射更高强度的抗扰度场强。

EUT 的边界,包括连接电缆,应处于满足场地确认要求的试验空间内。对于共用的辐射/抗扰度布置,测量系统应在两个垂直平面处校准,以覆盖在 0° , 90° , 180° , 270° 时 EUT 的最小和最大尺寸边界。可根据 EUT 选择两个平面的位置。

若在均匀域校准中使用吸波材料,这些吸波材料应该放置在发射天线和平面 2 之间。如果仅有一个校准平面(EUT 两边界尺寸之差小于 0.6 m),应在发射天线和校准平面之间放置地面吸波材料。

7.5.4 在共用的辐射/抗扰度试验布置下的 EUT 布置规范

设备应尽可能在接近典型的、实际操作配置条件下进行试验。除非另有说明,电缆和连线应按制造商要求连接,并且设备的外罩(或机柜)的各个面和可触嵌板都应固定在位。与 EUT 正常工作条件的任何不一致都应在报告中说明。7.3.6.3 的要求适用本款。EUT(在适当的非导电支撑结构上)应放置在能够远程操作的转台上,按 7.3.6.3 的要求,转动 EUT。

EUT 距离接地平面的高度应根据以下要求确定：

- 台式设备应放在高度为 $0.8\text{ m}\pm 0.01\text{ m}$ 的非导电布置桌面上,见 7.3.6.3。CISPR 16-1-4:2010 给出了非导电桌对试验结果影响的评估规范。
- 落地式设备应按适用的产品标准要求放置在非导电支撑面上。如果产品标准没有对 EUT 的放置高度作出规定,则 EUT 应放置在高出地面 5 cm \sim 15 cm 的非导电支撑面上。

墙面安装设备试验时应按照台式设备来布置。EUT 的放置应与正常运行方向一致(即按正常安装)。

接口电缆、负载和装置都应 EUT 同种类型接口中的至少一个接口相连接,且每根电缆都应连上与实际使用相同的负载终端。当同一种类型的端口有多个时,则应连接有代表性数量的装置或负载。若通过预测量发现再多连负载不会显著增加骚扰电平(通常高出 2 dB)也不会显著降低抗扰度水平,则在多负载端口只连一个负载时,试验结果也是有效的。试验配置和负载端口的数量应在试验报告中说明。

附加电缆连接的数量应按如下条件限制,即当再增加连接另一根附加电缆时,不会显著减少相对于限值的裕量(如 2 dB)。对于骚扰和抗扰度试验来说,有些情况下,最佳组合根据 EUT 不同的性能、负载、端口类型和电缆会有差别,从而要求在统一规定的 EUT 配置范围内再进行调整。

电缆的布置和负载连接应满足如下要求:

- 电缆的布置方向应使垂直极化或水平极化辐射场不被排除。电缆的布置和长度应满足具体产品的骚扰和抗扰度标准要求。如果两者要求不一致,则按产品骚扰发射标准规定的电缆布置和最大长度。为满足要求可以在辐射电磁场抗扰度试验时按骚扰发射规定的位置放置包含水平和垂直部分的最短 1 m 的电缆(除非制造商说明要求更短的电缆)。各电缆的任何超长部分应在电缆中心附近以 30 cm~40 cm 长的线段分别捆扎成 S 形。如果骚扰发射标准中没有明确电缆的布置,则以下要求适用:
- 根据图 13 和图 14 的要求,对于台式 EUT(图 13 和图 14),离开均匀试验空间的电缆(连接 EUT 与试验空间外部的电缆)应有总长度为 1 m(± 0.1 m)部分暴露在电磁场中,多余部分垂直落到地面(以试验桌高度要求最短长度 80 cm)。互连电缆悬挂桌子边上,离地高度最小 0.4 m(± 0.04 m)。离地面短于 40 cm 电缆不用裁短,多余部分以 30 cm~40 cm 长捆扎成 S 形。如果制造商声明电缆水平布置的最长长度不超过 1 m,包括台式设备的 EUT(放置在 0.8 m 高的台面)落到地面上的长度,此时水平布置应取决于超过 0.8 m 电缆的长度。且不要要求捆扎。
- 对于落地式设备(图 15 和图 16),离开均匀试验空间的电缆,应按至少 0.3 m 长度水平布置在试验空间内,然后根据典型正常使用(根据 I/O 端口的离地高度)方式垂直向下。整个外部水平电缆应沿着离地面最小高度 10 cm 距离与接地面绝缘。

EUT 外壳间的电缆应该如下处理:

- 采用制造商指定的电缆类型和连接方式。
- 如果制造商说明书中要求电缆的长度小于或等于 3 m,则采用指定长度电缆。电缆伸展 1 m(± 0.1 m)并将多余部分捆扎成 S 形,捆扎长度对于台式设备约 30 cm~40 cm 长(见图 13 和图 14);对于落地式设备约 1 m(见图 15 和图 16)。
- 如果规定的电缆长度大于 3 m 或未明确,则照射长度都应为 1 m。多余的部分延伸到试验空间外部。
- 台式和落地式组合的 EUT,根据每个独立单元的类型单独布置;台式和落地式设备间的互连电缆也要满足上述要求。
- 对于未连接至外围设备的电缆,采用差模和共模端接来模拟等效的外围设备(包括连接电缆及功能所要求的阻抗)。

未连接到其他装置的电缆的负载选择(见 7.3.6.3)如下:

- 同轴屏蔽电缆连接同轴终端(通常 50 Ω 或 75 Ω);
- 多于 1 个芯的屏蔽电缆应根据 EUT 制造商的规定连接共模和差模终端。共模终端连接在内部线间或差模终端和屏蔽层间。如果没有给出关于共模终端的信息,采用 150 Ω 共模终端;
- 非屏蔽电缆须采取制造商规定的差模终端;
- 所有的电缆,如按制造商的说明要求截短及提供模拟负载便于测量,按本章要求均需相对于试验暗室的墙或地面再提供附加 150 Ω 共模终端。

以下内容应与 7.3.6.3 同时考虑:

- 如果 EUT 需要 EUT 辅助设备(AE)才能正常工作,要特别注意 AE 应不影响辐射发射或辐射抗扰度试验。试验期间,如果在屏蔽暗室外有合适的连接接口,AE 可以放在电波暗室的外面。可能需要防止 RF 信号通过互连电缆泄漏进出电波暗室。
- 用来抑制来自 AE 的无用发射的其他手段或设备应放置在试验室外或高架地板下。
- 报告中应清楚地说明试验布置,包括电缆放置、附带电缆和负载的规范、离开试验空间的电缆

采用 CMAD 和其他用于抑制试验空间外部 AE 发射的方式。

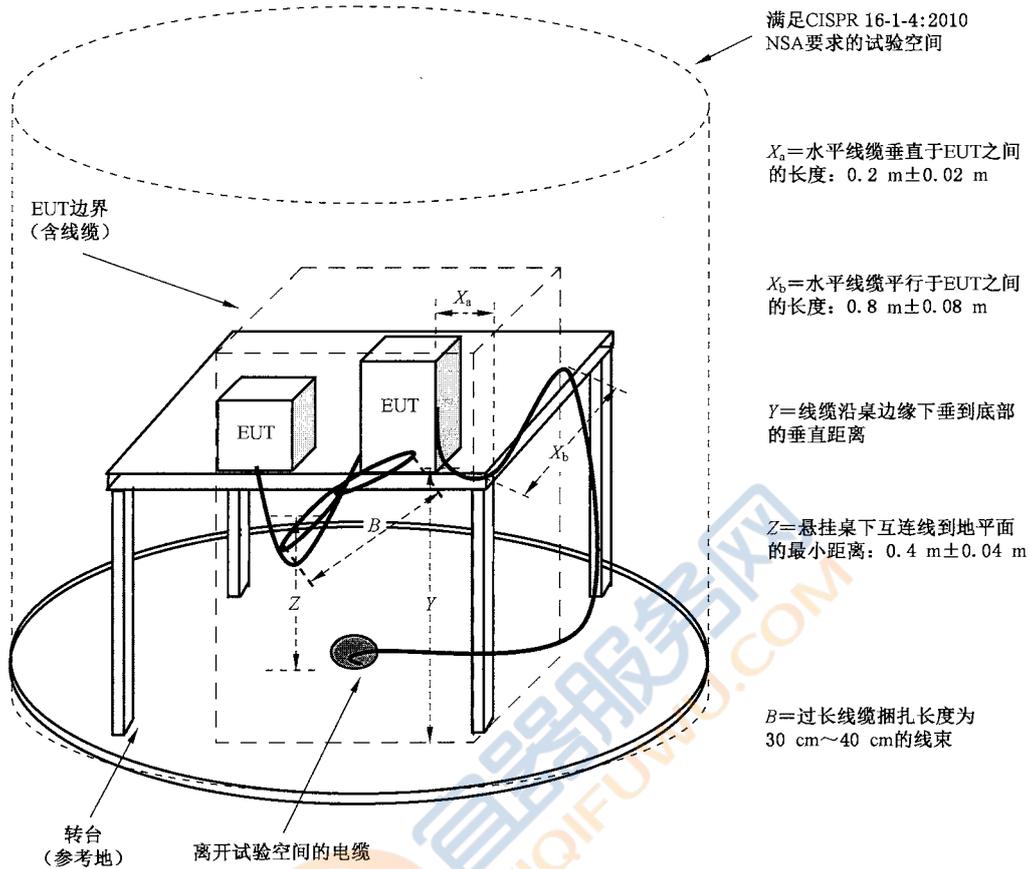


图 13 台式设备试验布置

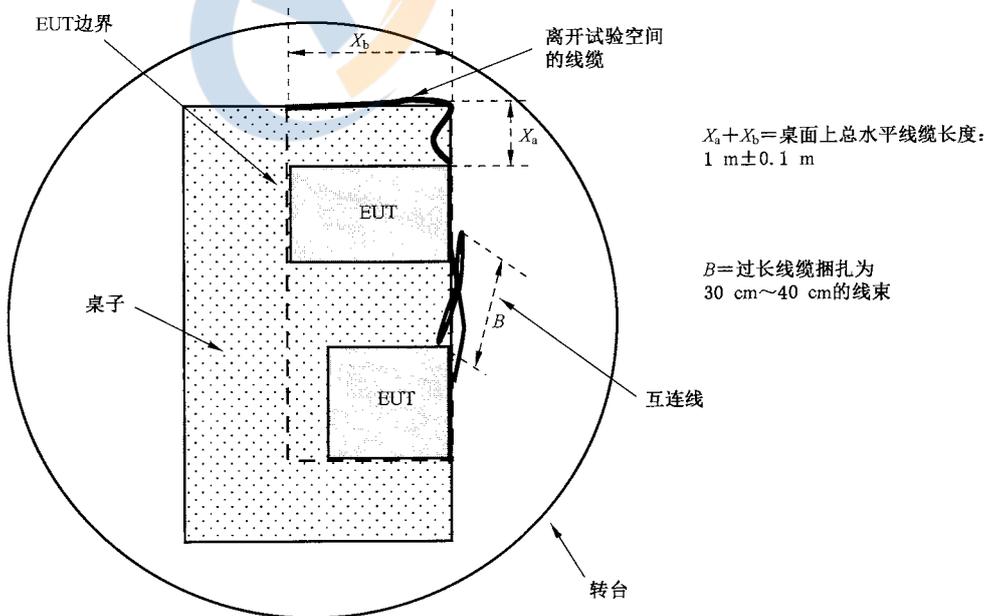


图 14 台式设备试验布置(俯视图)

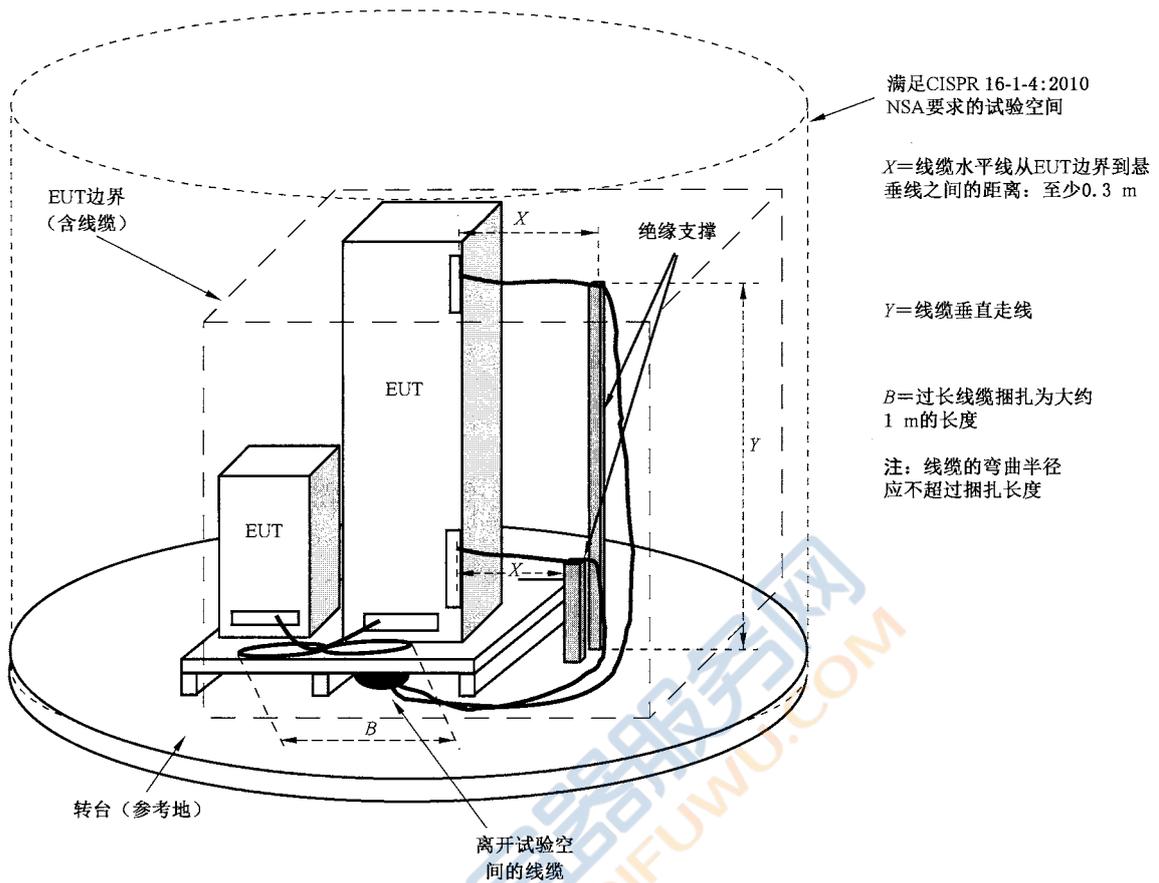


图 15 落地式设备试验布置

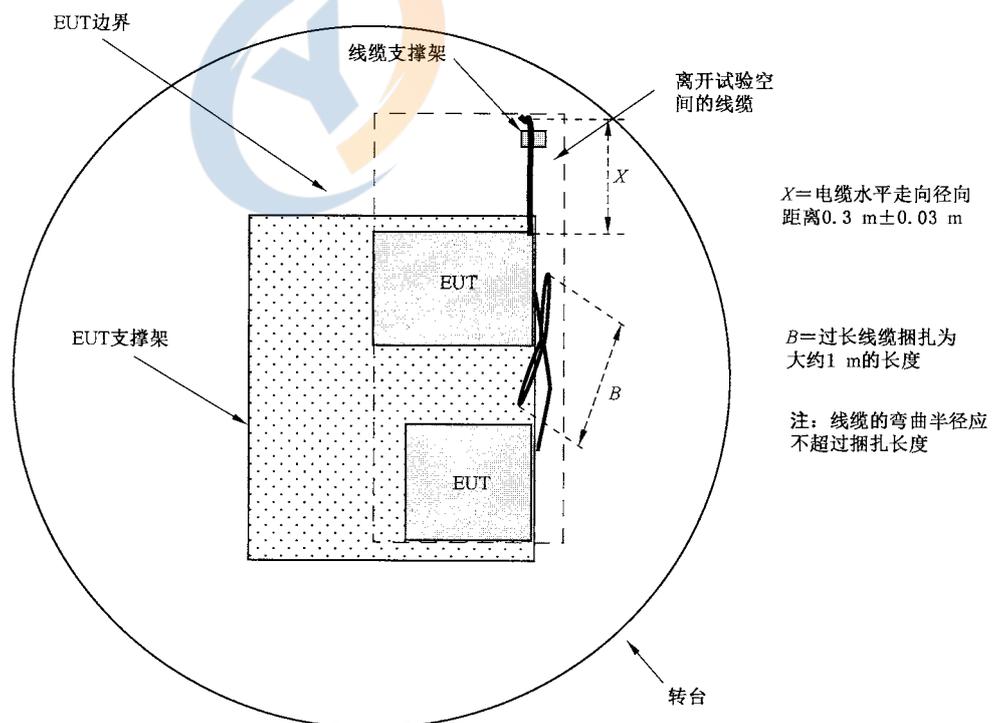


图 16 落地式设备试验布置(俯视图)

7.5.5 通用辐射/抗扰度布置和方法的测量不确定度

CISPR 16-4-1 中给出了辐射发射的测量不确定度一般的和基本的考虑。

7.6 全电波暗室和铺有吸波材料的 OATS/SAC 测量(1 GHz~18 GHz)

7.6.1 测量值

EUT 在测量距离上的发射电场强度就是测量值,结果用场强表示。

在一些标准中,设备在 1 GHz 以上的发射限值用有效辐射功率 P_{RE} (有效辐射功率)来表示,单位 dB(pW)。在自由空间远场条件下,3 m 距离的 P_{RE} 与场强的转换公式见式(10):

$$E_{3\text{ m}} = P_{RE} + 7.4 \quad \dots\dots\dots(10)$$

距离 d (单位 m)不是 3 m 的公式见式(11):

$$E_d = P_{RE} + 7.4 + 20\lg[3/d] \quad \dots\dots\dots(11)$$

7.6.2 测量距离

EUT 发射场强的首选试验距离为 3 m。试验距离 d 为 EUT 的边缘到接收天线参考点的水平距离(见图 17),EUT 指 EUT 的所有部分,包括线缆架、支持设备、最短 30 cm 的线缆。

按实际情况,可使用其他试验距离:

——当环境噪声很高或为了减少不希望有的反射时,可以缩短测量距离,但应确保测量距离大于或等于 $D^2/2\lambda$ 。

——当 EUT 很大时,可以增大测量距离,以使天线波束覆盖 EUT。

注:假设 EUT 产生的主要骚扰是不相干的并且为一个点源辐射,上面提到的最小测量距离($D^2/2\lambda$)中的 D 为测量天线的口径尺寸,不是 EUT 的尺寸。

如果不是在 3 m 的距离测量则测量距离应大于或等于 1 m 且小于或等于 10 m,假设在自由空间条件下,试验数据可以转换为 3 m 试验数据。用户应考虑,不同距离的试验外推的结果与实际上这个距离上测量结果通常并无相关性。参考本试验方法制定的标准和规范应明确规定首选的试验距离。

7.6.3 受试设备(EUT)的布置和工作条件

一般说来,EUT 在 1 GHz 以下的测量布置和工作条件也适用于 1 GHz 以上的测量。在任何情况下,测量布置应代表 EUT 最典型的布置(台式、落地式、机架安装式、壁挂式等)。

测量布置也应考虑 1 GHz 以上发射的试验,天线和 EUT 之间的地板上要铺上吸波材料。根据实际需要,进行 1 GHz 以上的发射试验时,EUT 应高于吸波材料的高度。如果没有办法使整个 EUT 高于吸波材料(比如放在机架上的或落地式 EUT),那么尽量使 EUT 的发射部分处于吸波材料的上方(例如,使用支架或托盘)。如 CISPR 16-1-4:2010 所描述,应使 EUT 处于在场地确认时得到的试验空间中。如果 EUT 或其发射单元的位置高于吸波材料的测量布置并不可行也不安全,那么允许 EUT 低于吸波材料的最高点 30 cm(见 7.6.6.1 和图 17)。

在试验报告中应记录 EUT 的布置照片或用图表清楚地表示出 EUT 的位置包括地板或转台表面、地板上吸波材料和接收天线的高度和位置。

7.6.4 测量布置

测量布置应遵循 CISPR 16-1-4:2010 中描述的要求。

7.6.5 测量设备

测量仪器应符合 CISPR 16-1-1、CISPR 16-1-4:2010 中描述的要求。

如 CISPR 16-1-1 所述,采用具有 1 MHz 测量带宽(脉冲带宽)的峰值测量频谱分析仪或接收机用来证实峰值限值的符合性。

如 CISPR 16-1-1 所述,采用具有 1 MHz 测量带宽(脉冲带宽)和较窄的视频带宽的峰值测量频谱分析仪来证实平均值限值的符合性。用于平均值测量的视频带宽值应低于被测的输入信号的最低频谱分量。

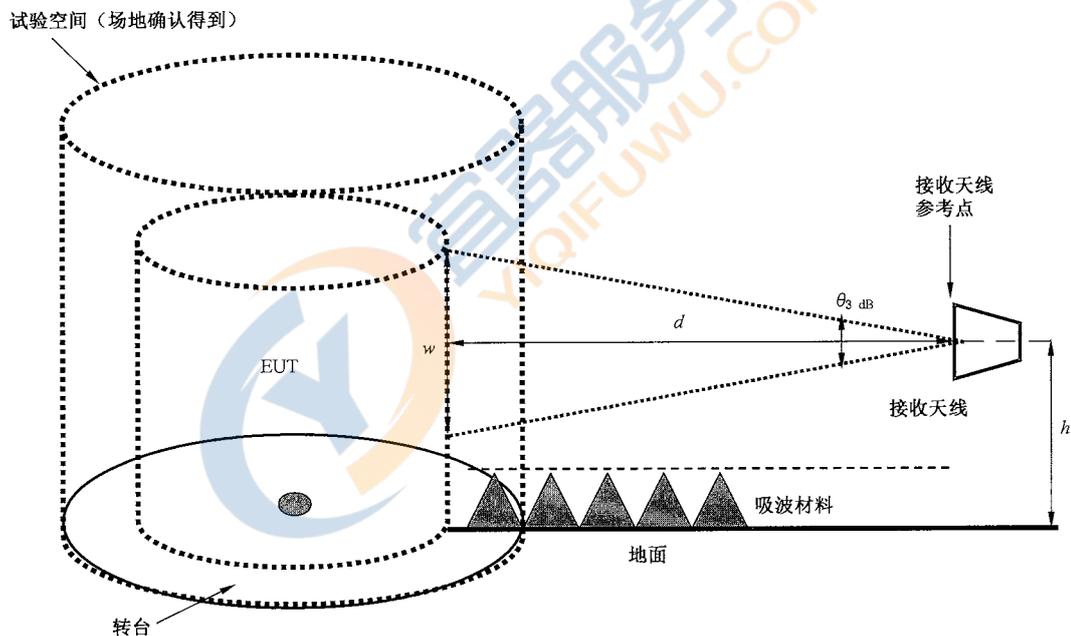
注:将频谱分析仪显示模式设置为线性模式,视频信号带宽设为比输入信号的最低频谱分量更低时,可以测量平均值。比如,输入信号有 1 kHz 重复脉冲频率,视频带宽小于 1 kHz,只有信号的直流分量(如,平均值)可以通过视频滤波器。

也可以使用其他满足要求的线性平均值检波器。总言之,频谱分析仪在平均值测量情况下,应设置成线性显示模式,而非对数显示模式。由于使用较窄的视频带宽,扫频时间应变长,以确保试验数据的精度。在规定限值允许用对数检波器时,对数模式可用于平均值测量。

7.6.6 测量程序

7.6.6.1 1 GHz 以上辐射场强测量的总体说明

1 GHz 以上的辐射场强测量是基于 EUT 的最大电场发射测量,布置如图 17 所示。



注:地平面上的吸波材料仅是为了说明给出。具体可以参考 CISPR 16-1-4:2010,其给出了在场地确认要求中吸波材料放置的详细指南。

图 17 1 GHz 以上的测量方法(天线垂直极化)

图 17 的参数、条件描述如下:

试验空间:场地确认程序所确认的空间(见 CISPR 16-1-4:2010)。其决定了能在其中进行试验的 EUT 的最大尺寸。

EUT(空间):可容纳整个 EUT(包括线缆支架,最短为 30 cm 的线缆)的最小直径的圆柱体。通过远程控制转台,位于这个圆柱体内的 EUT 可以绕其中心转动。EUT 一定要处于有效试验空间之内。当 EUT 为落地式设备且无法台升到高于吸波材料高度时, w (见下面定义)可低于地面上吸波材料的高度,最大不能低 30 cm(见 7.6.3)。

$\theta_{3\text{ dB}}$:在每个目标频率上,接收天线的最小 3 dB 波瓣宽度。在 E 平面和 H 平面上, $\theta_{3\text{ dB}}$ 是在每个频

率处 3 dB 波瓣宽度的最小值,此参数可以在接收天线制造商提供的数据上得到。

d :测量距离(单位为 m)。指 EUT 的边缘到接收天线的参考点之间的水平距离。

w :在测量距离 d 处,由 $\theta_{3\text{dB}}$ 所确定的到 EUT 两条正切线之间的距离。对于每一个实际使用的天线与试验距离用式(12)来计算 w 。 w 的值应该在试验报告中体现。此计算可参考接收天线制造商提供的波瓣宽度。

$$w = 2d \tan(0.5\theta_{3\text{dB}}) \quad \dots\dots\dots(12)$$

w ——应是最小尺寸,如表 4 所示;

h ——接收天线高度,天线参考点到地面的距离。

表 4 给出了 w 可接受的最小值。在最小试验距离 1 m(详见 7.6.2)处,根据式(9)及 $\theta_{3\text{dB}}$ 的最小值计算出 w 的最小值。在测量场强的任何频率,选择适当试验距离 d 和天线的类型使得 w 大于或等于表中的值。对于表中没有的频率,可以用其相邻的两个频率线性插值计算出 w_{min} 。表 5 所示为依据式(12)在 3 种不同的试验距离 1 m、3 m 和 10 m 分别使用 3 种不同的天线时所计算出的 w 。

通过升降天线的高度和旋转转台的角度($0^\circ \sim 360^\circ$),来测量 EUT 的最大发射值。图 18 描述和规定了对于两种不同类型的 EUT 测量时天线高度扫描范围。

表 4 $w(w_{\text{min}})$ 最小尺寸

频率 GHz	$\theta_{3\text{dB}}, \text{min}$ ($^\circ$)	w_{min} m
1.00	60	1.15
2.00	35	0.63
4.00	35	0.63
6.00	27	0.48
8.00	25	0.44
10.00	25	0.44
12.00	25	0.44
14.00	25	0.44
16.00	5	0.09
18.00	5	0.09

注 1: 满足式(9)的情况下,可以使用其他的天线和试验距离(最小值满足 $w = w_{\text{min}}$), w 的值可以比表中所示最小值大。

注 2: 由于接收天线的每个高度都要测量水平和垂直极化,所以由 w 形成的最小的观察区域为 w^2 (单位为 m^2)。

注 3: 在某些情况下, w 可以覆盖多个独立物理组件组成的 EUT。例如,同时试验的多机箱系统的多个独立机柜。

注 4: 高度扫描要求取决于 w 。例如,通过选取较宽的波瓣宽度天线和较大的试验距离将 w 最大化更有利。

注 5: 天线的辐射方向图和波瓣宽度会影响测量值。除天线系数不确定度外,天线至少还有两个影响因素: 1) 天线的辐射方向图的波动或其他异常; 2) 不同天线间波瓣宽度差异会导致不同结果,这决定于 EUT 有几个独立的辐射物理结构落入天线的波瓣宽度范围内。

表 5 三种天线的 w 值(举例)

频率 GHz	DRG Horn				LPDA or LPDA-V ^a			
	$\theta_{3\text{ dB}}$ (°)	$d=1\text{ m}$	$d=3\text{ m}$	$d=10\text{ m}$	$\theta_{3\text{ dB}}$ (°)	$d=1\text{ m}$	$d=3\text{ m}$	$d=10\text{ m}$
		w m	w m	w m		w m	w m	w m
1.00	60	1.15	3.46	11.55	60	1.15	3.46	11.55
2.00	35	0.63	1.89	6.31	55	1.04	3.12	10.41
4.00	35	0.63	1.89	6.31	55	1.04	3.12	10.41
6.00	27	0.48	1.44	4.80	55	1.04	3.12	10.41
8.00	25	0.44	1.33	4.43	50	0.93	2.80	9.33
10.00	25	0.44	1.33	4.43	50	0.93	2.80	9.33
12.00	25	0.44	1.33	4.43	50	0.93	2.80	9.33
14.00	25	0.44	1.33	4.43	45	0.83	2.49	8.28
16.00	5	0.09	0.26	0.87	40	0.73	2.18	7.28
18.00	5	0.09	0.26	0.87	40	0.73	2.18	7.28

^a LPDA-V: V型对数周期偶极子阵列。表中所示的 $\theta_{3\text{ dB}}$ 和 w 值是 LPDA 或 LPDA-V 的典型值。但这些天线通常具有不同的增益。

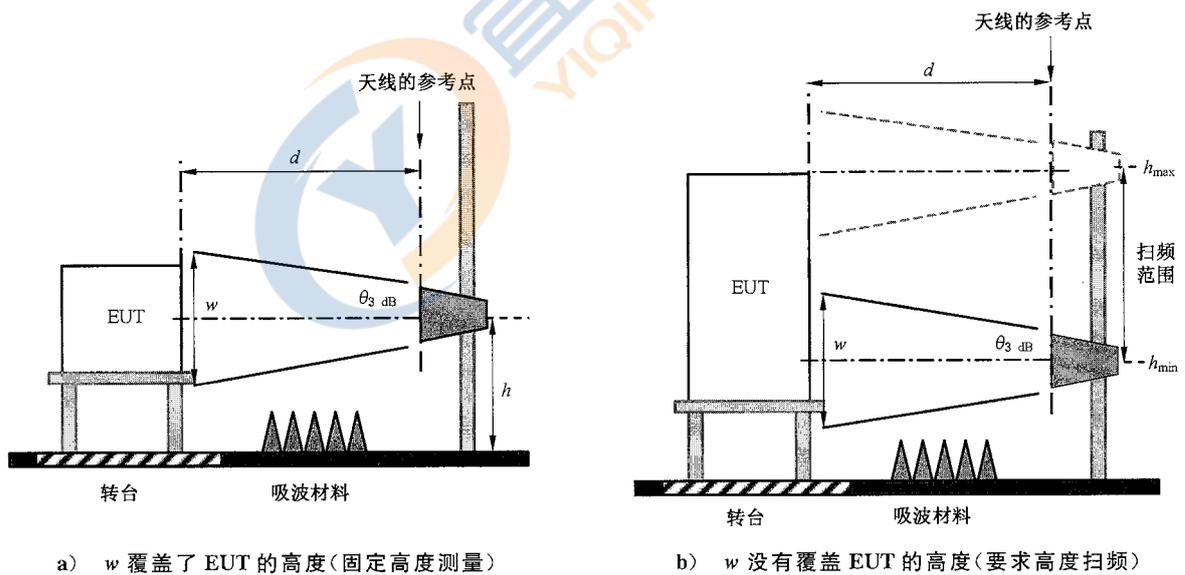


图 18 两种类型 EUT 的扫描高度描述

任何最大尺寸小于或等于 w 的 EUT,接收天线的中心应固定在与 EUT 中心位置相同的高度[如图 18a)所示]。对于最大垂直尺寸大于 w 的 EUT,接收天线的中心应沿着平行于 w 的线进行垂直扫频[如图 18b)所示]。扫描的高度 h 的范围为 1 m~4 m。如果 EUT 的高度小于 4 m,接收天线的中心不需要扫描 EUT 的顶部以上高度。上述两种情况,固定高度 h 或高度的扫描范围应记录在试验报告里。

注: 对上文所要求的高度扫描,建议使用连续的高度扫描以获得最终、最大的发射值。如果使用步进高度扫描,则应注意确保增量足够小,以捕捉到最大的发射值。

关于 w 的水平范围,不要求 EUT 全部在 w 以内。当 EUT 的宽度大于 w ,EUT 的水平中心放置在测量轴上,旋转 EUT 可提供必要的水平扫描以确定最大场强。不需要将接收天线离开测量轴进行移动(侧面、横向)扫描,但产品标准有规定的除外。

7.6.6.2 使用传统(非统计)检波器测量

7.6.6.2.1 一般测量程序

对于任何 EUT,首先应通过发射最大化预测量程序(见 7.6.6.2.2)找到对应的发射频率。然后进行最终的发射测量(见 7.6.6.2.3)。首选在限值对应的距离上进行这两个试验。如果有正当理由,最终测量可以在与此不同的距离上进行,以帮助转化测量结果,首先在限值对应的距离上进行测量。

在进行测量前,应先确认测量仪器相对于限值的灵敏度。如果整个测量中,测量灵敏度不够,可以使用低噪声放大器、采取更近的测量距离或使用较高增益的天线。若采用更近的测量距离或使用较高增益的天线则应考虑波瓣宽度与 EUT 的相对尺寸。而且,当使用前置放大器时,应考虑系统的过载电平是否足够。

在存在高电平信号情况下,测量低电平发射时,测量仪器应有对烧坏及饱和的防护。可组合使用带通、带阻、低通和高通滤波器。但是应知道这些滤波器或其他装置在测量频段的插入损耗值,测量报告中的计算应包括这些值。

注:确定是否产生非线性效应(过载、饱和等)的简单方法是在测量仪器的输入端插入一个 10 dB 的衰减器(如果使用了前置放大器,就应放在其前端)并确认(可能产生非线性效应的)大信号的所有谐波的幅值是否减少 10 dB。

7.6.6.2.2 预测量程序

本条款的程序是资料性的,规范性的测量要求见 7.6.6.2.3。在预测量过程中,可能找到给定工作模式中的最大辐射发射。为了尽量缩短测量时间,建议首先进行峰值检测,然后与平均值限值进行比较。只有在峰值检测值超过平均值限值的频段,再用平均值检测,并将检测结果与平均值限值比较。

确认辐射发射预测量程序的指南如下:

- a) 在天线的整个频率范围内,使用峰值检波和最大值保持模式实现扫描或扫频。
- b) 应确定适当的扫频或扫描时间,以确保充分捕捉到信号。
- c) 如果有必要,在初步试验中,可以通过降低扫频模式下的分辨率带宽来减少频谱仪和接收机的本底噪声。但是注意,这会减小宽带发射的幅度,因此需要额外评估以确定发射是宽带还是窄带的。
- d) 连续旋转 EUT 或以小于或等于 15° 增量旋转 EUT,然后在另一个极化情况下重复此做法。EUT 应在两种极化情况下进行 $0^\circ \sim 360^\circ$ 旋转,以得到每个关注频率点的最大发射值。
- e) 对于转台的连续旋转模式,应设置频谱分析仪的扫描时间,使在小于或等于转台转过 15° 的时间内扫描完所选择的频率范围。如果转台的旋转速度在频谱仪的一个完整扫频或扫描时间内,转台转过角度大于 15° ,应使用较小的频率范围来减少频谱仪的扫频时间从而达到每次扫频时转台的最大角度为 15° 。
- f) 为了确定最大发射的频率点,以上描述的方法可适用由 7.6.6.1 和图 18 所规定的所有高度和 EUT 各种工作模式。
- g) 为了进一步评估从步骤 a)~步骤 d) 找到的频率,用一个小的扫频范围(通常为 5 MHz 或更小)和减小转台转动增量、天线的高度步进,以评估接近限值的频率点。通常情况下,离限值 10 dB 以内的频率点,都需要用较小的频率步进、转台增量、高度步进来进一步评估。

7.6.6.2.3 最终测量程序

在初步发射最大化(接收天线位于最大发射的位置上)确定后,使用能产生最大发射的布置条件(天

线高度、EUT 方位等)来测量给定测量距离上 EUT 的发射场强。最终的测量可以用预测量确定下来的 EUT 工作模式,以取得最大的发射值。

频谱分析仪在给定的与频率跨度成比例的时间内,以最大值保持的结果作为最终测量(值)。考虑到工作模式的持续时间和具体被测产品的时间常数,这个给定的时间可以由每个产品或者产品类来定。应使用所有要求的检波器来进行最终的测量。或者,证明峰值测量结果符合所有的规定限值。

如果初步试验中,EUT 的配置(天线高度、EUT 的方位、工作模式等)无法确定最大的发射,则需进行以下的附加试验:

- a) 对于最大尺寸小于或等于 w 的 EUT,接收天线的中心应固定在 EUT 中心的高度上(见图 16)。
- b) 对于最大垂直尺寸大于 w 的 EUT,应按 7.6.6.1 中描述的天线高度扫描要求(上限和下限)进行高度扫描。
- c) 在所有情况下,为了找到最大的发射,EUT 在 $0^\circ\sim 360^\circ$ 之间进行旋转,在水平极化和垂直极化分别进行测量。

总之,1 GHz 以上的最终试验要求如下:

通过以下要求的操作(有些可以在预测量程序中完成),记录最大的发射值:

- 1) 无论是通过转动转台还是接收天线绕试验空间转动来进行试验,EUT 的试验旋转范围应该是 $0^\circ\sim 360^\circ$ 。
- 2) 如果 EUT 的垂直高度大于 w ,则接收天线应该进行高度扫描。
- 3) 水平极化和垂直极化都要进行试验。

7.6.6.3 运用 APD(统计)功能测量

7.6.6.3.1 概述

测量一个骚扰信号的幅度概率分布(APD),可以得到这个骚扰信号的统计特性。GB/Z 6113.3—2006 中 4.6^[2]提供了 APD 测量的应用背景材料。产品委员会可以选择 APD 测量方法用于最终发射试验。APD 测量应用在 EUT 产生的高骚扰场强的频率上。产品委员会应确定频率选择的方法和数量。

APD 测量使用以下两种方法之一。第一种方法是测量与规定时间概率 P_{limit} 有关的骚扰电平 E_{meas} ,单位为 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$,指定为方法 1(见 7.6.6.3.2)。第二种方法是测量骚扰包络超过指定限值 E_{limit} [单位为 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$]的时间概率 P_{meas} ,指定为方法 2(见 7.6.6.3.3)。附录 D 中给出了两种 APD 测量方法的附加信息和图表。

如果产品委员会决定用 APD 的方法,应选择方法 1 或方法 2。如果 APD 测量仪器不包括 A/D 转换器,那么只使用方法 2;如果 APD 测量仪器包含 A/D 转换器,则方法 1 或方法 2 都可以使用。

产品委员会应确定限值组(E_{limit} , P_{limit})的数量及其数值,并且决定是否同时使用 APD 限值和峰值限值。

7.6.6.3.2 方法 1——骚扰电平的测量

按以下程序进行测量:

- 1) 按照 CISPR 16-1-1(对于 1 GHz 以上的测量)设置频谱仪的分辨率带宽(RBW)和视频带宽(VBW)。
- 2) 可以通过在所关注的频率范围内使用最大值保持功能来找出最大骚扰的频率点。在该测量过程中应使用峰值检波器。

注:当窄带发射隐藏在宽带发射中时,峰值检波器的最大值保持模式可能会忽略窄带发射。因此,需要额外的测量来寻找窄带发射的频率。产品委员会可要求使用平均值检波器或数字视频平均进行额外扫描。此外,产品委员会可规定 APD 测量频率的个数。

- 3) 确定 APD 测量的频率。产品委员会应给出 APD 测量频率的个数。
- 4) 设置频谱分析仪的中心频率为程序 2) 中得到的最大骚扰频率点。
- 5) 设置频谱分析仪的参考电平比程序 2) 中得到的最高骚扰电平至少高 5 dB。
- 6) 设置频谱分析仪为零跨度模式。在由产品委员会规定的测量时间内测量骚扰的 APD 值。测量时间应该比骚扰周期长。
如果骚扰频率发生波动,产品委员会应指定需要测量骚扰的 APD 的频率范围(单位为 MHz)。在这个频率范围内,对 APD 测量应设置频率步进为 1 MHz。但是,对于 APD 测量值低于 APD 限值 6 dB 以内的频率范围,也可能需要使用更小的步进(如 0.5 MHz)进行额外测量。产品委员会应规定该较小的频率步进值。
- 7) 用程序 2) 得出的下一个频率作为频谱仪的中心频率,重复程序 4)~程序 6) 直到得到所有频点的 APD 值。
- 8) 直接读出从程序 6) 得出的超过规定电平 E_{meas} 的概率值 P_{limit} 。
- 9) 将 E_{meas} 和限值 E_{limit} 比较,如果所有频点的 E_{meas} 小于或等于 E_{limit} ,则 EUT 符合要求。

7.6.6.3.3 方法 2——时间概率的测量

测量程序如下:

程序 1)、2)、3)、4)、5)、7) 与方法 1 对应的程序相同(见 7.6.6.3.2)。

其中程序 6)、8)、9) 做如下修改:

- 6) 设置频谱仪为零跨度模式,在由产品委员会规定的测量时间内,测量骚扰的 APD 值(或者直接测量与规定电平相关的概率值 P_{meas})。
- 8) 直接读出从程序 6) 得出的超过规定电平 E_{limit} 的概率值 P_{meas} 。
- 9) 将 P_{meas} 和限值 P_{limit} 比较。如果所有频点的 P_{meas} 小于或等于 P_{limit} ,则 EUT 符合要求。

7.6.7 FAR 的测量不确定度

CISPR 16-4-1 给出了发射测量不确定度的一般和基本考虑。

7.7 现场测量(9 kHz~18 GHz)

7.7.1 现场测量的适用性和准备

现场测量可用于研究特定位置干扰的问题,例如,电气设备可能对其附近的无线电接收产生干扰。如果由于技术原因无法在标准试验场地进行辐射发射测量,而相关的产品标准允许,则现场测量也可用于符合性评估。不能在试验场进行测量的技术原因可能是由于 EUT 的尺寸或重量过大或是由于在标准的场地测量时系统内各部分的连接太昂贵。同一型号的 EUT 在不同场地的现场测量结果与标准试验场测得的结果通常是不同的,因此现场测量不用于型式试验。

注 1: 一般来说,由于现场环境中导电结构(或多或少影响了环境电磁场)与测量天线/EUT 间的相互的耦合造成的缺陷使现场测量不能完全替代 CISPR 16-1-4:2010 中规定的适宜的测量场地[开阔试验场地试验场或替换测量场地,例如(半)电波暗室]。

EUT 通常由一个或多个装置和/或系统组成,或是成套设备的一部分,或与成套设备连接。EUT 连接外围各部分的边界通常作为确定测量距离的参考点。在某些产品标准中,将商业园区或工业园区的外墙或边界作为参考点。

初步试验用以从环境信号中识别 EUT 中潜在干扰源(例如,振荡器)的骚扰场强的频率和幅度。对于这些测量,推荐使用频谱分析仪替代接收机,这样可进行大量的频谱分析。推荐将电流探头放在连接电缆上或将近场探头或测量天线放置在靠近 EUT 处,来确定骚扰信号的频率和幅值。

若可能,应在 EUT 产生最高骚扰场强的运行模式下,对选定的频率进行测量。后续测量也应在

EUT 的这些运行模式下进行。

注 2: 当 EUT 是设备的一部分且不能独立于其他设备运行, 很难找到产生最大骚扰的条件。对于某些设备及其运行模式, 运行状况(尤其是周期性运行的设备)可能与时间相关。此时选定的观察周期应足够长以保证达到产生最大骚扰的条件。

在近似相同的测量距离上围绕 EUT 对每一个被选频率进行测量, 以确定最大骚扰场强产生的方向。应至少测量 EUT 3 个不同方向产生的骚扰。在每个频率上的最终骚扰场强测量时应考虑当地的环境条件, 并在产生最大骚扰场强的方向上(频率不同方向可能不同)进行测量。应分别在天线水平极化和垂直极化下测量最大骚扰场强。如果被测骚扰场强与环境发射场强之比小于 6 dB, 可按照附录 A 的方法进行测量。

7.7.2 9 kHz~30 MHz 频率范围内的场强现场测量

7.7.2.1 测量方法

磁场骚扰场强应在 EUT 产生最大骚扰场强的运行模式下在最大辐射方向上测量。

水平极化骚扰场强应使用 CISPR 16-1-4:2010 中 4.2.1 中规定的环天线, 在标准测量距离 d_{limit} 下测量, 天线高度为 1 m(地面与天线最低部分间的距离)。旋转天线以确定最大骚扰场强。

注: 在任意布置的方向上测量最大骚扰场强, 应将天线定位在 3 个正交方向上, 被测的场强由下式计算:

$$E_{\text{sum}} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

当给出了 E 场的等效限值, 而被测场强为磁场分量, H 场强可以通过自由空间阻抗 377Ω 转化为对应的 E 场强, 即将 H 场强的读数乘以 377。 H 场强由下式给出:

$$H_{\text{sum}} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

当限值为磁场强度时, H 场强值可直接应用。

如果天线不能在 3 个正交方向上测量, 为了测量到最大骚扰场强, 可以手动旋转天线至最大读数的方向。

7.7.2.2 非标准距离测量

如果无法在产品或通用标准上规定的标准测量距离 d_{limit} 进行测量, 那么应在最大辐射方向上, 在小于或大于标准测量距离的位置进行测量。如果无法在标准距离测量, 应至少在小于或大于标准测量距离的 3 个不同测量距离上测量。

测量结果(用 dB 表示)作为测量距离的函数在对数坐标上描点。用一条线连接测量结果。这条线表示场强随距离的增加而减小, 可用此线确定其他测量距离上的骚扰场强, 例如, 标准距离处的场强。

7.7.3 30 MHz 以上频率范围的场强现场测量

7.7.3.1 测量方法

骚扰场强应在 EUT 产生最大骚扰场强的运行模式下和在 EUT 最大辐射方向的标准距离位置上测得。应尽可能使用宽带天线在 1 m~4 m 高度范围测量水平极化和垂直极化的骚扰场强的最大值。测得的最大值即为测量值。

推荐使用双锥天线测量 200 MHz 以下频段, 使用对数周期天线测量 200 MHz 以上频段。测量天线与附近任意金属物体(包括电缆)的距离应大于 2 m。

7.7.3.2 非标准测量距离

在产品标准或通用标准中规定了标准测量距离 d_{std} 。如果不能在标准测量距离测量, 应按照条款 7.7.2.2 在不同的测量距离上测量骚扰场强。每次测量都须进行天线高度扫描, 在对数坐标上被测场强是测量距离的函数, 因此可以按照 7.7.2.2 通过描点确定标准距离 d_{std} 上的骚扰场强。

如果测量距离处受限于建筑物的外墙或边界,因而不能在不同距离进行测量,可用式(13)将测量结果转换为标准距离的场强:

$$E_{\text{std}} = E_{\text{meas}} + 20n \lg \frac{d_{\text{meas}}}{d_{\text{std}}} \dots\dots\dots(13)$$

式中:

E_{std} ——标准距离上的场强, dB($\mu\text{V}/\text{m}$), 用于与发射限值比较;

E_{meas} ——测量距离处的场强, dB($\mu\text{V}/\text{m}$);

d_{meas} ——测量距离, 单位为米(m);

d_{std} ——标准测量距离, 单位为米(m);

n 取决于测量距离 d_{meas} , 如下:

若 $30 \text{ m} \leq d_{\text{meas}}$ $n = 1;$

若 $10 \text{ m} \leq d_{\text{meas}} < 30 \text{ m}$ $n = 0.8;$

若 $3 \text{ m} \leq d_{\text{meas}} < 10 \text{ m}$ $n = 0.6;$

注: $n < 1$ 适用于测量距离与到 EUT 的距离不同的情况。

测量距离不能小于 3 m。

如果不能在不同距离测量, 和因测量距离未涉及建筑物的外墙或边界而不能使用式(13), 则通过测量辐射骚扰功率来确定场强(见 7.7.4)。

7.7.4 用替换法进行骚扰有效辐射功率的现场测量

7.7.4.1 一般测量条件

若 EUT 可以关闭且 EUT 可以被移除和替代, 则使用替换法没有附加条件。

若 EUT 不能被移除且其前表面为大的平面, 应考虑到此表面对替换法的影响[见式(15)]。如果测量方向上 EUT 的前表面不平, 无需考虑因此引起的附加的测量不确定度。

若 EUT 不能关闭, 只要 EUT 在特定频率点的骚扰场强比其邻近频率的场强至少高 20 dB(邻近频率指在一个或两个接收机 IF 带宽内的频率), 就仍可以在邻近频率上用替换法测量辐射功率, 选择频率时应尽可能考虑可能对无线电业务的干扰。

7.7.4.2 30 MHz~1 000 MHz 频率范围

7.7.4.2.1 测量距离

所选的测量距离应满足远场条件。如果满足以下条件, 则被认为满足远场条件:

a) $d > \lambda / (2\pi)$; 且

b) $d \geq 2 \times D^2 / \lambda$; \dots\dots\dots(14)

式中:

d ——测量距离, 单位为米(m);

D ——包括电缆在内的 EUT 最大的尺寸, 单位为米(m);

λ ——波长, 单位为米(m)。

或者如果测量距离 $d \geq 30 \text{ m}$, 也认为满足远场条件。在远场条件下, 式(13)中的系数 n 假定为 1。如果选定的测量距离较短, 可通过 7.7.3.2 提到的程序验证场强与距离成反比以确认此假定的有效性。若由于客观条件需要缩短测量距离, 应给予说明。

7.7.4.2.2 测量方法

有效辐射骚扰功率应在 EUT 产生最大骚扰场强模式下的最大辐射方向上测量。按照 7.7.4.2.1 选

取测量距离,应尽可能地在 1 m~4 m 范围内改变天线的高度确定所选频率点的最大骚扰场强。

有效辐射骚扰功率的测量应按照步骤 a)~步骤 g) 进行:

- a) EUT 应被断开并移除。用半波偶极子天线或其他具有类似辐射特性的天线(增益为 G) 替代。若移除 EUT 是不现实的,则应将半波或宽带偶极子天线(频率低于 150 MHz 时 EUT 耦合最小)放在靠近 EUT 的位置。天线与 EUT 的距离不超过 3 m。
- b) 信号发生器给半波(或宽带)偶极子发送与 EUT 运行时发射频率相同的信号。
- c) 半波偶极子(或宽带天线)的位置和极化方向应使接收机能接收到最大场强。如果 EUT 未被移除,可能的话,关闭 EUT,将偶极子在距 EUT 不超过 3 m 的范围内移动。
- d) 改变信号发生器输出的功率,直至测量接收机的读数与所测得的 EUT 的最大骚扰读数相同为止。
- e) 如果 EUT 的前面为一个大的平面(例如,一个带有有线电视网络的建筑物),替代天线(半波偶极子)放置在此平面(建筑物前壁)前大约 1 m 处。替代的位置应选择虚拟替代天线和测量天线的连线垂直于建筑物表面。
- f) 改变接收天线的高度、极化方向和半波偶极子(或宽带天线)到平面的距离,使接收机接收到最大场强。
- g) 信号发生器的功率按照 d) 进行变化。

对于被移除的 EUT,或者无法移除的 EUT[分别见步骤 a) 和步骤 c)],信号发生器功率 P_G 加上发射天线相对半波振子天线的增益 G 等于要测量的有效辐射骚扰功率 P_r :

$$P_r = P_G + G \quad \dots\dots\dots(15)$$

当 EUT 在假想的平面(例如,电信交换大楼)内,放置在此表面前的偶极子天线的增益将增加,有效辐射功率由式(16)给出:

$$P_r = P_G + G + 4 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

P_r ——单位 dB(pW);

P_G ——单位 dB(pW);

G ——单位为分贝(dB)。

有效辐射骚扰功率可用于计算在标准测量距离 d_{std} 处的骚扰场强。自由空间场强 E_{free} 可由式(17)计算:

$$E_{free} = \frac{7\sqrt{P_r}}{d_{std}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

E_{free} ——单位为微伏每米($\mu V/m$);

P_r ——单位为皮瓦(pW);

d_{std} ——单位为米(m)。

如果要将式(17)计算得到的自由空间场强与标准测量场地骚扰场强限值比较,应考虑到由于地面反射,在标准场地测量的场强幅度高于式(17)得到的自由空间场强大约 6 dB。考虑此增量修改式(17)。因此可用下式计算垂直极化方向上标准距离处的骚扰场强:

$$E_{std} = P_r - 20\lg d_{std} + 22.9 \quad \dots\dots\dots(18)$$

由于 160 MHz 频率以下水平极化方向上的最大场强不是在标准试验场地测量,因此 6 dB 系数应修正如下:

$$E_{std} = P_r - 20\lg d_{std} + 16.9 + (6 - C_c) \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:

E_{std} ——单位 dB($\mu V/m$);

f ——测量频率；

d_{std} ——单位为米(m)；

C_c ——水平极化修正系数(见表6)。假定辐射源高度为1 m。

这种骚扰场强的测量方法主要用于测量天线和 EUT 之间有障碍物的情况。

表 6 作为频率的函数水平极化修正系数

f MHz	30	40	50	60	70	90	100	120	140	160	180	200	750	1 000
C_c dB	11	10.2	9.3	8.5	7.6	5.9	5.1	3.4	1.7	0	0	0	0	0

7.7.4.3 1 GHz~18 GHz 频率范围

7.7.4.3.1 测量距离

测量距离的选择应满足远场条件。用双脊波导喇叭天线或对数周期天线测量得到的辐射骚扰功率与距离的函数来验证远场条件。若测量距离等于或大于转折距离,则满足远场要求。转折距离由图 19 的转折点确定。对测量结果进行描点,两条间距 5 dB 的平行线应包括尽可能多的测量结果。转折点前为横线,转折点后的辐射功率随距离增加而下降,斜率为 20 dB/10 倍频程。

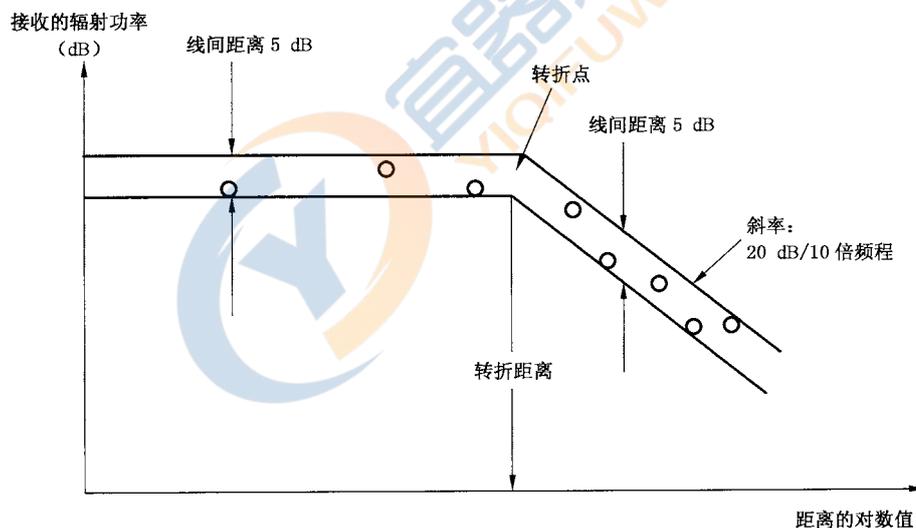


图 19 转折距离的确定

7.7.4.3.2 测量方法

辐射骚扰功率应在 EUT 产生最大骚扰场强的模式下且在最大辐射方向上测得。用双脊波导喇叭天线或对数周期天线确定最大辐射的方向。根据 7.7.4.2.1 选择测量距离,测量被选定频率的骚扰场强。稍微改变天线的位置,确保此处不是场强的最小点(例如,反射)。

测量辐射骚扰功率时,EUT 应关闭,双脊波导喇叭天线或对数周期天线靠近 EUT 放置或取代 EUT 的位置。在相同频率上,信号发生器给天线馈送信号。天线的方位应能使测量接收机接收到最大场强。应固定天线位置。改变信号发生器的输出功率直到测量接收机接收值与 EUT 产生的功率相同。信号发生器的输出功率 P_G 加上传输天线相对于半波偶极子的增益 G 等于辐射骚扰功率 P_r :

$$P_r = P_G + G \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

P_r ——单位 dB(pW);

P_G ——单位 dB(pW);

G ——单位为分贝 (dB)。

7.7.5 测量结果说明

现场测量的特殊环境和条件应给予说明,以便当重复测量时能重现测量条件。测量说明应包括以下内容:

- 用现场测量替代标准场地测量的原因;
- EUT 的描述;
- 技术文件;
- 标明测量位置现场测量示意图;
- 被测装置的描述;
- 被测装置和 EUT 之间所有连接的细节:技术数据和位置/布置细节;
- 运行条件的描述;
- 测量设备的细节;
- 测量结果:
 - 天线极化;
 - 测量值:频率、测量电平和骚扰电平;
 - 注:骚扰电平是指归一化到标准测量距离上的电平。
 - 干扰程度的评估(如果适用)。

7.7.6 现场测量的不确定度

CISPR 16-4-1 中给出了发射测量不确定度的一般和基本考虑。

7.8 替换法测量(30 MHz~18 GHz)

7.8.1 概述

替换法用于测量 EUT 包括线缆和内部电路在内的机箱辐射的无线电骚扰。EUT 既可以是不带任何连接端口的独立单元,也可以是带有一个或几个电源或外部连接端口的设备。为了将来产品标准的制定,要求产品委员会采用在 7.6 中描述的 1 GHz~18 GHz 的场强测量方法。

7.8.2 试验场地

试验场地应是一块平坦场地。可以使用室内场地,但为了满足稳定性要求及避免来自于周围环境的严重反射,需要一些特殊布置,尤其是在较高频段。例如,测量天线需要加上角形反射器,EUT 后面需要有吸波墙。场地的适用性如下确定。

两个水平极化半波偶极子天线,记作 A 和 B(见 7.8.3),应间隔测量距离 d 、以相同的架设高度 h 相互平行放置,天线的架设高度离地不小于 1 m。偶极子 B 连接到信号发生器,偶极子 A 连接到测量接收机的输入端。信号发生器调谐至测量接收机给出最大指示值位置,其输出也调节至一个合适的电平。如果偶极子 B 沿任意方向移动 100 mm 时,测量接收机的指示变化不超过 ± 1.5 dB,则认为该场地适用于该测量频段内的测量。测量应在整个测量频段内重复进行,频率间隔应足够小以保证场地对在所有频点上的测量都是满足要求的。如果 EUT 还需要垂直极化测量(见 7.8.5),则测量场地的适用性试验

还应在两偶极子天线垂直极化放置时重复进行。

7.8.3 试验天线

如图 20 所示的测量天线 A 和 B 如上所述为半波偶极子天线。对于 1 GHz 以下的频段,对发射天线 B 的基本要求是在它最大辐射方向上的辐射功率应接近输入端的输入功率相关。接收天线 A 也应是半波偶极子,其实际的灵敏度应包含在替代法测量系统的校准中。对于 1 GHz~18 GHz 的频率范围,建议使用线极化喇叭天线。

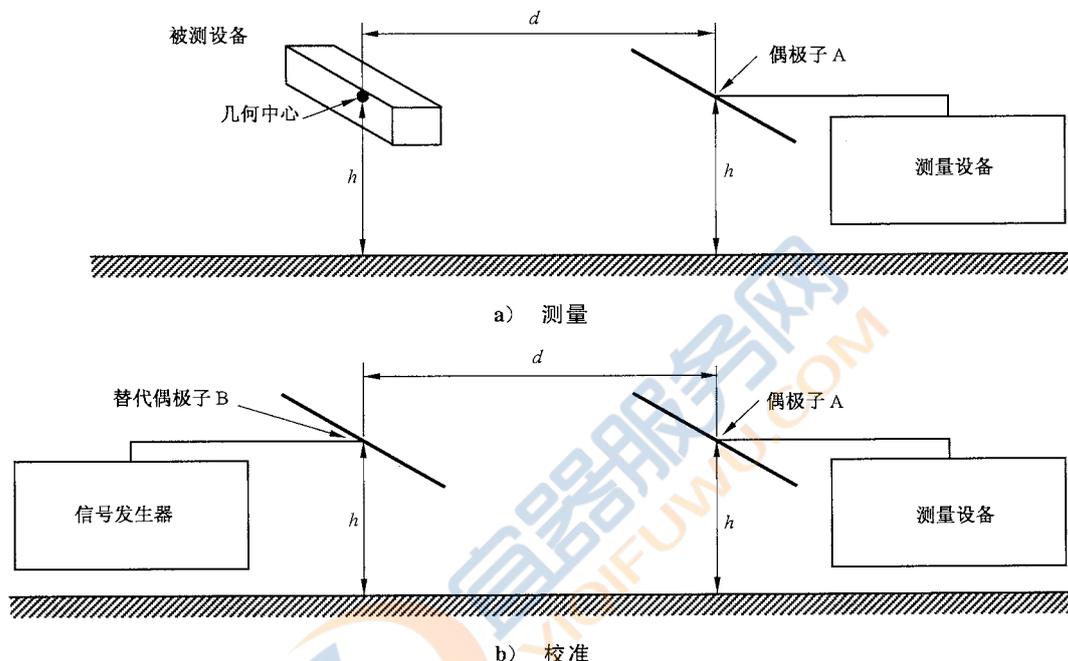


图 20 替代测量法的配置

7.8.4 EUT 的布置

EUT 应放置在一个具有水平旋转装置的绝缘台上, EUT 应布置得使它的几何中心与早先用作偶极子天线 B(图 20)中心点的那点相重合。如果 EUT 是由一个以上的单元组成,则每个单元应分别测量。如果工作不会受到不利影响的话,则卸去 EUT 可拆卸的导线。需要的导线应该配备铁氧体吸收环,并放置在不会影响测量结果的位置上。对于屏蔽的 EUT,所有不使用的连接端都应屏蔽端接。

7.8.5 试验程序

按 7.8.4 所叙述的方法布置 EUT 时,水平极化测量偶极子 A 的放置与验证测量场地时相同。偶极子应垂直于通过其中心和 EUT 中心的垂直面。第 1 次 EUT 在其正常使用时的台式放置位置上测量,第 2 次将其垂直旋转 90° 后,在平时的垂直面一侧进行测量。每次测量时,都要在水平面内旋转 360° ,最大读数即为 EUT 的被测特性值。

用半波偶极子 B 来代替 EUT 即可以进行测量系统的校准。与信号发生器相连的该校准偶极子 B 的中心应放置在与之前 EUT 的几何中心相同的位置上并与测量天线 A 平行。EUT 机箱在每个测量频点上的辐射功率定义为当信号发生器的输出调节为测量接收机给出与之前所记录的最大读数(Y)相同的读数时,半波偶极子 B 的输入功率。

7.8.6 测量时间的确定

如果 EUT 的发射频谱,尤其是最大的脉冲重复间隔 T_p 未知,应研究以确保测量时间 T_m 不短于 T_p 。EUT 发射的间歇特当用测量偶极子天线进行水平极化和垂直极化测量时,对两种方式都应分别校准。

7.8.7 替换试验方法的测量不确定度

CISPR 16-4-1 中给出了发射测量的不确定度的一般和基本考虑。

7.9 混响室测量(80 MHz~18 GHz)

辐射发射可按照 IEC 61000-4-21 中规定的方法在混响室中进行测量。使用可替换的试验方法的条件见 CISPR 16-4-5。CISPR 16-4-1 给出了发射测量不确定度的一般和基本描述。

7.10 TEM 室中测量(30 MHz~18 GHz)

辐射发射可按照 IEC 61000-4-20 中规定的方法在 TEM 室中进行测量。使用可替换的试验方法的条件见 CISPR 16-4-5。CISPR 16-4-1 给出了发射测量不确定度的一般和基本描述。

8 发射的自动测量

8.1 概述-自动测量注意事项

多数情况下,可用自动测量替代 EMI 重复测量以降低操作人员在读数和记录中的差错。由计算机采集数据产生的错误,可由操作人员检查发现。在某些情况下,自动测量可能产生比熟练的操作者手动测量更大的不确定度。不过,无论是手动测量还是用软件控制,测得的发射值的准确度是没有差异的。两种情况下,测量不确定度都是基于所用仪器在测量设置时的准确度。当实际的测量情况与软件设定的条件不同时,可能会增加难度。

例如,若在自动测量期间存在环境信号,EUT 的发射频率临近高电平环境信号时,可能无法准确测量。一个有经验的测量人员可以轻松地辨别实际骚扰与环境信号,根据情况调整测量 EUT 发射的方法。在 OATS 可以通过关闭 EUT 进行环境测量,记录当时试验场的环境信号,减少测量时间。在这种情况下,软件能通过适当的信号识别方法提示测量人员在某些频率上存在潜在环境信号。

在 EUT 发射存在一个低的开关周期或出现瞬态的环境信号(例如电弧焊瞬变)时,或 EUT 的发射缓慢变化时,则测量人员要干预测量。

8.2 一般测量程序

在使 EUT 处于最大发射并进行最终测量之前,EMI 接收机先捕捉信号。用准峰值检波器测量频段内的所有频率的发射最大值,会耗费过多的时间(见 6.6.2),因此不需要对每个发射频率进行像天线高度扫描那样耗时的过程,只要对发射幅值接近或超过发射限值的频率点进行测量,即仅对发射幅值接近或超过限值的关键的频率点测量其最大值。

图 21 描述能减少测量时间的通用流程。

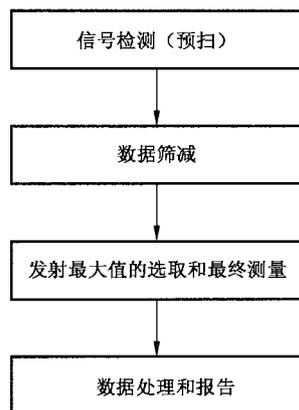


图 21 减少测量时间的流程

8.3 预扫频测量

8.3.1 概述

预扫作为整个测量过程的第一步有多个作用。预扫的目的是获得将要进行的附加试验或扫频所需的信息,因此它对测量系统设置提出基本的要求和限制。这种测量模式适用于对那些发射频谱不了解的新产品的测量。通常,预扫是数据采集过程,用于确定测量频段内显著信号的频率范围。为了达到该测量目的可能需要移动天线塔和转台(辐射发射测量)需要提高频率准确度(例如在 OATS 进行进一步测量),经过幅值与限值比较,减少数据量。这些因素确定了预扫的测量程序。在任何情况下,结果应保存在数据列表中,以作进一步处理。当对未知发射频谱的 EUT 进行预扫以快速获取信息时,按 6.6 要求进行频率扫频。

8.3.2 测量时间的要求确定

应确认 EUT 的发射频谱和主要的最大脉冲重复间隔周期 T_p ,以确认测量时间 T_m 不会比 T_p 短。EUT 的内部发射特性与发射频谱的临界峰值十分相关。首先应确定发射幅值不稳定的发射频率,这可以通过比较 15 s 观察期间内最大值保持与最小值保持(测量设备或软件的清除/写入功能)获得。观察期间不能改变测量布置(传导发射时不改变导线,功率测量时不移动吸收钳,辐射发射时不移动转台或天线)。例如可以把最大值保持结果与最小值保持结果之差大于 2 dB 的信号作为间歇信号(注意不要把噪声当作间歇信号)。

辐射发射测量时,改变天线的极化方向进行复测以减小由于间歇信号低于噪声电平而被遗漏的风险。可以用零跨度扫频或将示波器接到测量接收机的中频输出端测量每个间歇信号的脉冲重复周期 T_p 。增加测量时间直到最大值保持和清除/写入的结果之差小于 2 dB,此时的测量时间为适宜的测量时间。进一步测量(最大值测量和终测)时,应确保频率范围内的每个部分的测量时间 T_m 不小于脉冲重复周期 T_p 。

8.3.3 不同测量类型的预扫要求

测量类型决定预扫内容,方法如下:

9 kHz~30 MHz 频率范围(例如 GB 4824)的辐射发射中,当接收机对发射频谱进行扫频时,环天线(见 GB 4824)和 EUT 都需旋转以获得最大场强。

30 MHz~1 000 MHz 频率范围,按照表 7,根据测量距离、频率范围和极化方向确定天线的预固定

高度。预测量应在 EUT 多个方位上进行。快速测量是最大化最终测量的第一步,用以获得辐射发射的值。如果要更详细地确定最大发射状态下的天线高度、极化方向和 EUT 的方位,采用的标准应有能确定最大骚扰的适宜程序。

在 1 GHz 以上频率范围,当对发射频谱进行扫频时,天线需水平极化和垂直极化放置,并旋转 EUT 以找到最大场强值。详细的测量程序见 7.6.6.1。

表 7 30 MHz~1 000 MHz 频率范围推荐确保获取信号的天线高度(用于预扫)

测量距离 m	极化方向	频率范围 MHz	每个频率范围的天线推荐高度 (最小/最大) m
3	水平	30~100	2.5
		100~250	1/2
		250~1 000	1/1.5
	垂直	30~100	1
		100~250	1/2
		250~1 000	1/1.5/2
10	水平	30~100	4
		100~200	2.5/4
		200~400	1.5/2.5/4
		400~1 000	1/1.5/2.5
	垂直	30~200	1
		200~300	1/3.5
		300~600	1/2/3.5
		600~1 000	1/1.5/2/3.5
30	水平	30~300	4
		300~500	2.5/4
		500~1 000	1.5/2.5/4
	垂直	30~500	1
		500~800	1/3.5
		800~1 000	1/2.5/3.5

注 1: 推荐的天线高度根据发射源相位中心高度在 0.8 m~2.0 m、最大误差为 3 dB(仅适用于预扫)的条件得出。如果相位中心高度范围减少,那么接收天线选择高度的数目减少。如果发射模型有指向性(存在波峰和波谷),例如,在上边举例的频率范围内,则可能需要选择更多的天线高度。

注 2: 对于大型的 EUT,例如通信系统,接收天线应放置在几个水平或垂直位置,这取决于天线的波瓣宽度。

8.4 数据筛减

作为整个测量程序的第二步,通过减少预扫收集的信号数量,以进一步减少整个的测量时间。此过程可以完成不同的任务,例如确定频谱中的关键信号,辨别环境或外围设备信号和 EUT 的发射信号,比较信号与限值,或根据用户的要求进行数据筛减。CISPR 16-2-1:2008 的附录 C 中的流程图给出了数据筛减的方法包括依次使用不同的检波器和幅度与限值比较的又一示例。数据筛减可以用全自动或交互的方式,包括软件工具或操作人员的介入来实现,其不需要独立于自动测量,例如可作为预扫的一

of design axle load on the design lane in the early occupation stage. Random statistics of 3 000 vehicles of 2-axle 6-wheel and above to get the frequency of single-axle appeared in different axle types of single-axle, 2-axle and 3-axle, and weighing their weight respectively, the axle load spectrum is acquired according to the statistics of each single-axle weight levels, and so is the equivalent conversion factor of the design axle load with different axle weight level by Formula (A.2.2-1).

$$k_{p,i} = \left(\frac{P_i}{P_s} \right)^{16} \quad (\text{A.2.2-1})$$

Where:

$k_{p,i}$ —Equivalent conversion factor of the design axle load with different single-axle weight level i ;

P_i —Axle load of single axle of level i (kN);

P_s —Weight of design axle load (kN).

Daily action numbers of design axle load on design lane in the early stage shall be calculated as per Formula (A.2.2-2), based on the axle-load spectrum and the equivalent conversion factor of the axle-load.

$$N_s = \text{ADTT} \frac{n}{3\,000} \sum_i (k_{p,i} \times p_i) \quad (\text{A.2.2-2})$$

Where:

N_s —Daily action numbers of design axle load on design lane [Axis/(lane • Day)];

ADTT—Annual average daily truck traffic on design Lane [vehicles/(lane/Day)];

n —Total number of single-axle appeared in random statistics of 3 000 vehicles of 2-axle 6-wheel or above;

p_i —Frequency of single-axle of level i (expressed as fraction).

A.2.3 When weighing and making statistics on the axle load of various axle type on the base of vehicle type, the coefficient method on vehicle equivalent axle load can be used to calculate and analyze the daily action number of design axle load on design lane in early occupation stage.

Vehicles with 2-axle 6-wheel and above can be divided into 3 categories, straight, semi-trailer and multi-trailer, each category can be divided by number of axles, single-axle spectrum of axle load can be got after weighing by vehicular type. The equivalent design axle-load coefficient of different vehicles can be got by Formula (A.2.2-1) and Formula (A.2.3-1).

$$k_{p,k} = \sum_i k_{p,i} p_i \quad (\text{A.2.3-1})$$

Where:

$k_{p,k}$ —Equivalent design axle-load coefficient for vehicles of category k ;

p_i —Axle weight class i based on single-axle for vehicles of category k (expressed as fraction).

According to the data of the composition of various vehicles, the daily action number of the design axle load on design lane in early occupation stage shall be calculated as per Formula (A.2.3-2).

$$N_s = \text{ADTT} \times \sum_k (k_{p,k} \times p_k) \tag{A.2.3-2}$$

Where:

p_k —Ratio of Class k vehicle (expressed as fraction).

A.2.4 The accumulative action number of the design axle load in the critical load position on design lane of the concrete surface in the design reference period, shall be determined as per Formula (A.2.4).

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \tag{A.2.4}$$

Where:

N_e —Accumulative action number of the axle load on the design lanes within design reference period;

t —Design reference period (a);

g_r —Annual growth rate of the truck traffic volume within design reference period (expressed as fraction);

η —Lateral distribution coefficient of the wheelpath in the critical load position, shall be adopt as per Table A.2.4.

Table A.2.4 Lateral Distribution Coefficient of the Wheelpath

Highway grade		The edge of the longitudinal joint
Express Highway, Class 1 Highways, Toll Station		0.17~0.22
Highways of Class 2 or below	The Lane Width > 7 m	0.34~0.39
	The Lane Width ≤ 7 m	0.54~0.62

Note: When the lane is wide or the traffic is heavy, the higher value is adopted; on the contrary, the lower value is adopted.

Appendix B The Stress Analysis of the Concrete Slab and the Thickness Calculation

B.1 Mechanical Model

B.1.1 According to different types and combinations of roadbase and surfacecourse, mechanical models as follows can be adopted for pavement structural analysis:

- 1 Single-layer-plate model on elastic base—suitable to concrete surface course on granular roadbase, concrete surface overlaying on existing bituminous pavement, the base below surface plate shall be treated as elastic foundation.
- 2 Double-layer-plate model on elastic base—suitable to concrete surface course on roadbase with inorganic binders or bituminous binders, unbonded concrete surface course overlaid on existing concrete pavement. Taking surface course, roadbase or new/old surface course as double-layer-plate, the part below roadbase or old surface course shall be treated as elastic foundation.
- 3 Composite plate model—suitable to surface course or roadbase plates composed of two layers of functionally different materials. Overlaid combined concrete surface course on existing concrete pavement, surface course composed of two functionally different materials with interlayer bonded, as the single layer plate, or the upper plate of double-layer plate on elastic base, composition base layer by inorganic-bound base or bituminous-bound base with inorganic-bound subbase is as the lower plate of double-layer-plate on elastic base.

B.2 Loading Stress of Single-layer Plate on Elastic Base

B.2.1 The fatigue stress, in the critical load position of surface course plate caused by design axial load, shall be calculated as per Formula (B.2.1).

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} \quad (\text{B.2.1})$$

Where:

σ_{pr} —Fatigue stress(MPa) in the critical load position of surface course plate caused by design axial load P_s ;

σ_{ps} —Stress(MPa) caused by design axial load in the critical load position of the slab with four free edges, shall be calculated as per Article B.2.2;

k_r —Stress reduction coefficient for joint-loading-transfer capacity; when concrete shoulder is adopted, $k_r = 0.87 \sim 0.92$ (the lower value for the same thickness of shoulder surface course to the pavement surface course, the higher for thinner shoulder thickness); when flexile shoulder or soil shoulder is adopted, $k_r = 1$;

k_f —Fatigue stress coefficient considering the cumulative fatigue influence by loading stress in the design reference period, shall be calculated as per Article B.2.3;

k_c —Comprehensive coefficient considering the influence by factors like: deviation on calculation theory to actual condition, dynamic action, etc. shall be determined as per Table B.2.1 by highway classes.

Table B.2.1 Comprehensive Coefficient k_c

Highway grade	Expressway	Class 1 Highway	Class 2 Highway	Class 3 Highway and Class 4 Highway
k_c	1.15	1.10	1.05	1.00

B.2.2 The stress(MPa) caused by the design axial load P_s in the critical load position of the slab with four free edges, shall be calculated as per Formula(B.2.2-1).

$$\sigma_{ps} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.70} h_c^{-2} P_s^{0.94} \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$r = 1.21 (D_c / E_t)^{1/3} \quad (\text{B.2.2-2})$$

$$D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1 - \nu_c^2)} \quad (\text{B.2.2-3})$$

Where:

P_s —Single axle weight of design axle load;

h_c, E_c, ν_c —Thickness(m) of the concrete slab, Flexural elastic modulus(MPa) and Poisson ratio;

r —Relative stiffness radius of the concrete slab, shall be calculated as per Formula(B.2.2-2);

D_c —Sectional flexural rigidity(MN · m) of concrete surface course plate, which can be calculated as per Formula(B.2.2-2);

E_t —Equivalent resilient modulus(MPa) of the base plate, which shall be calculated as per Article B.2.4 for newly-built highway and as per Article B.2.5 for overlaid concrete surface course on existing flexible pavement.

B.2.3 Fatigue stress coefficient in the design reference period shall be calculated as per Formula(B.2.3-1).

$$k_f = N_e^\lambda \quad (\text{B.2.3-1})$$

Where:

N_e —Accumulative action numbers of design axle load in the design reference period, shall be calculated as per Formula(A.2.4) in Appendix A;

λ —Coefficient of fatigue of material, for normal concrete, reinforced concrete and continuous

reinforced concrete, $\lambda = 0.057$; for rolling compacted concrete and lean concrete, $\lambda = 0.065$; for steel fiber concrete, λ shall be calculated as per Formula (B.2.3-2).

$$\lambda = 0.053 - 0.017\rho_f \frac{l_f}{d_f} \quad (\text{B.2.3-2})$$

Where:

ρ_f —Steel fiber content by volume(%);

l_f —Length(mm)of steel fiber;

d_f —Diameter(mm)of steel fiber.

B.2.4 Equivalent resilient modulus of base plate for newly-built road, shall be calculated as per Formula (B.2.4-1).

$$E_t = \left(\frac{E_x}{E_0}\right)^\alpha E_0 \quad (\text{B.2.4-1})$$

$$\alpha = 0.86 + 0.26 \ln h_x \quad (\text{B.2.4-2})$$

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^2 E_i)}{\sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (\text{B.2.4-3})$$

$$h_x = \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{B.2.4-4})$$

Where:

E_0 —Comprehensive Resilient modulus(MPa)on the top of road bed;

α —Regression coefficient related to the total thickness h_x of granular course, which shall be calculated as per Formula(B.2.4-2);

E_x —Equivalent resilient modulus(MPa)of the granular course, which shall be calculated as per Formula(B.2.4-3);

h_x —Thickness(m)of granular course, which shall be calculated as per Formula (B.2.4-4);

n —The number of granular courses;

E_i, h_i —Resilient modulus(MPa)and the thickness of structural course number i .

B.2.5 When the cement concrete surface is laid on the existing bituminous concrete pavement, the comprehensive equivalent resilient modulus E_t on the top of existing bituminous pavement shall be calculated as per Formula(B.2.5-1) based on the testing results of the deflection at the center of Falling Weight Deflectometer with load of 50 kN and radius of bearing

plate of 150 mm, or as per Formula (B.2.5-2) based on Benkelman Beam with vehicles of rear axle weight of 100 kN.

$$E_t = 18\,621/w_0 \quad (\text{B.2.5-1})$$

$$E_t = 13\,739 w_0^{-1.04} \quad (\text{B.2.5-2})$$

$$w_0 = \bar{w} + 1.04 s_w \quad (\text{B.2.5-3})$$

Where:

w_0 —Representative deflection value (0.01 mm) for road sections, which shall be calculated as per Formula (B.2.5-3);

\bar{w} —Average deflection value (0.01 mm) for road sections;

s_w —Standard deviation (0.01 mm) for the deflection of road sections.

B.2.6 The maximum load stress produced in the critical load position of surface plate by the heaviest axle load, shall be calculated as per Formula (B.2.6).

$$\sigma_{p,\max} = k_r k_c \sigma_{pm} \quad (\text{B.2.6})$$

Where:

$\sigma_{p,\max}$ —The maximum load stress (MPa) produced in the critical load position of surface plate by the heaviest axle load P_m ;

σ_{pm} —The maximum load stress (MPa) produced in the critical load position of plate with four free edges by the heaviest axle load P_m , which shall be calculated as per Formula (B.2.2-1), among which the design axle load P_s needs to be changed into heaviest axle load P_m (measured in single-axle, kN).

B.3 The Thermal Stress of Single-layer Plate on Elastic Roadbase

B.3.1 Temperature fatigue stress at the location of critical load position of surface slab shall be calculated by Formula (B.3.1).

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{t,\max} \quad (\text{B.3.1})$$

Where:

σ_{tr} —Temperature fatigue stress at the location of critical load position of surface slab (MPa);

$\sigma_{t,\max}$ —The maximum temperature stress (MPa) of concrete slab on the maximum temperature gradient, which shall be determined as per Article B.3.2;

k_t —Fatigue stress coefficient considering the cumulative fatigue influence of thermal stress,

shall be calculated as per Article B.3.4.

B.3.2 The maximum temperature stress of concrete surface slab on the maximum temperature gradient, which shall be determined as per Formula(B.3.2).

$$\sigma_{t,\max} = \frac{\alpha_c E_c h_c T_g}{2} B_L \quad (\text{B.3.2})$$

Where:

α_c —Linear expansion coefficient of concrete, which can be selected through Table E.0.3-2 based on the characters of coarse aggregates;

T_g —The maximum temperature gradient in 50 years return period at the highway location, which can be selected through Table 3.0.10;

B_L —Thermal stress coefficient considering the influence of temperature-warping stress and the internal stress, which shall be determined as per Article B.3.3.

B.3.3 The thermal stress factor of comprehensive temperature warping stress and internal stress B_L shall be calculated by Formula(B.3.3-1).

$$B_L = 1.77e^{-4.48h_c} C_L - 0.131(1 - C_L) \quad (\text{B.3.3-1})$$

$$C_L = 1 - \frac{\sinh t \csc t + \cosh t \sin t}{\csc t \sin t + \sin t \csc t} \quad (\text{B.3.3-2})$$

$$t = \frac{L}{3r} \quad (\text{B.3.3-3})$$

Where:

C_L —Temperature warping stress factor of concrete surface plate, which shall be calculated by Formula(B.3.3-2);

L —The spacing between transversal joints of surface plate, i.e. plate length(m);

r —The relative stiffness radius of surface plate(m).

B.3.4 The thermal fatigue stress factor k_t shall be calculated by Formula(B.3.4).

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,\max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{t,\max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] \quad (\text{B.3.4})$$

Where:

a_t , b_t and c_t —Regression coefficient, which shall be determined by local highway natural zoning and Table B.3.4.

Table B.3.4 Regression Coefficient a_t, b_t and c_t

Coefficient	Highway natural zoning					
	II	III	IV	V	VI	VII
a_t	0.828	0.855	0.841	0.871	0.837	0.834
b_t	1.323	1.355	1.323	1.287	1.382	1.270
c_t	0.041	0.041	0.058	0.071	0.038	0.052

B.4 Loading Stress of Double-layer-plate on Elastic Base

B.4.1 The loading fatigue stress of surface plate or upper surface plate σ_{pr} shall be calculated by Formula(B.2.1). Among which, the determination methods of loading fatigue stress factor k_f , stress reduction factor k_r and comprehensive factor k_c are the same with single-layer-plate; the loading stress σ_{ps} produced at the critical load position of upper layer plate by design axle load P_s shall be determined by Formula(B.4.1-1).

$$\sigma_{ps} = \frac{1.45 \times 10^{-3}}{1 + D_b/D_c} r_g^{0.65} h_c^{-2} P_s^{0.94} \quad (B.4.1-1)$$

$$D_b = \frac{E_b h_b^3}{12(1 - \nu_b^2)} \quad (B.4.1-2)$$

$$r_g = 1.21 [(D_c + D_b)/E_t]^{1/3} \quad (B.4.1-3)$$

Where:

D_b —Sectional flexural rigidity of lower layer plate(MN · m), which shall be calculated by Formula(B.4.1-2);

h_b, E_b and ν_b —The thickness, flexural elastic modulus and Poisson ratio, of lower layer plate;

r_g —Overall relative rigidity radius(m) of double-layer-plate, which shall be calculated by Formula(B.4.1-3);

h_c, D_c —The thickness and sectional flexural rigidity of upper layer plate(MN · m), which shall be calculated by Formula(B.2.1-3).

B.4.2 The loading fatigue stress of roadbase plate or lower layer of surface plate made of lean concrete or roller compacted concrete shall be calculated by Formula(B.4.2-1). Among which, the determination methods of fatigue stress factor and comprehensive factor k_c are the same with single-course-plate, and the loading stress produced at the critical load position of lower layer plate by design axle load P_s shall be determined by Formula(B.4.2-2).

$$\sigma_{bpr} = k_f k_c \sigma_{bps} \quad (B.4.2-1)$$

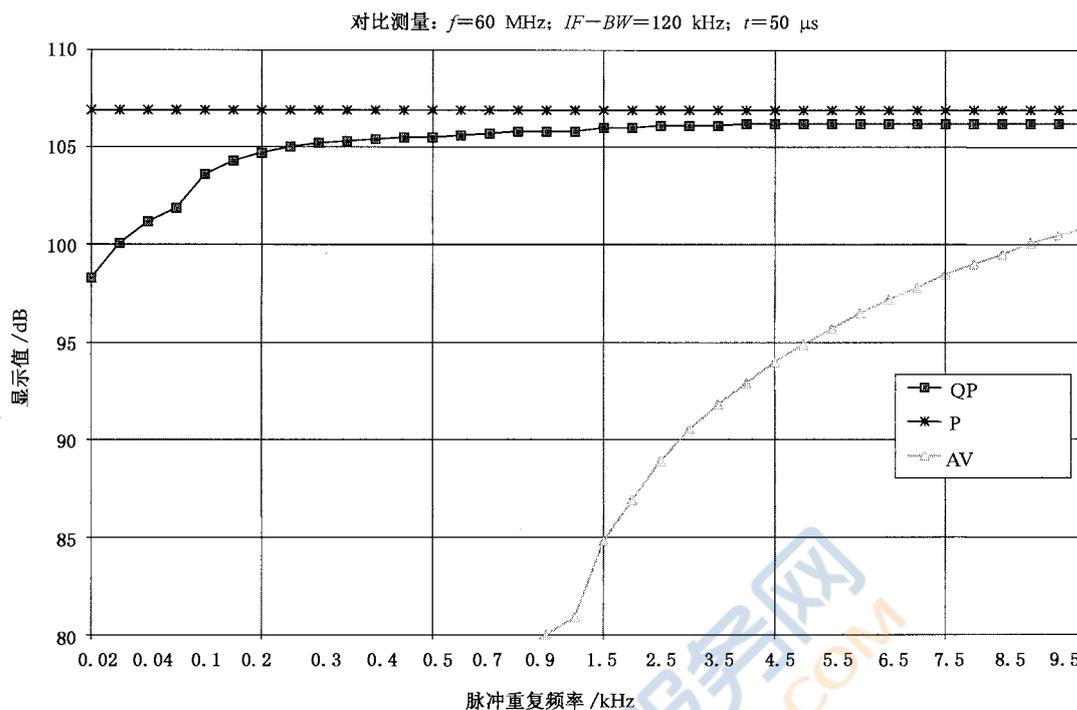
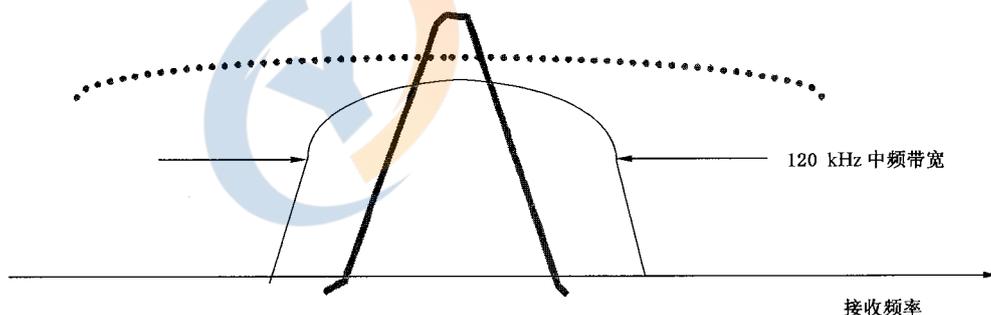


图 A.6 脉冲调制信号($t=50\text{ }\mu\text{s}$)的脉冲重复频率与峰值、准峰值、平均值的函数关系

A.4.3.5 EUT 的宽带骚扰

宽带骚扰(见图 A.7)测量应使用准峰值检波器。



图中:

虚线 —— EUT 骚扰;

粗实线 —— 环境发射;

细实线 —— 120 kHz 中频带宽。

图 A.7 宽带信号的骚扰(虚线)

一般来说,由于无法在环境信号带宽中进行宽带骚扰的测量,所以通常用准峰值检波器测量环境信号频谱外的骚扰。

A.4.4 宽带环境发射中 EUT 骚扰的测量方法

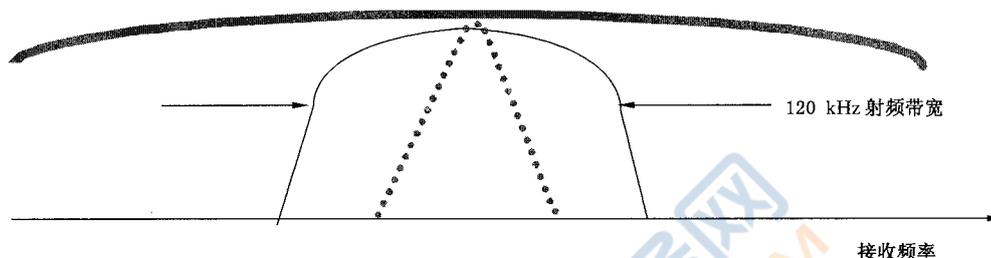
A.4.4.1 概述

测量方法基于以下步骤:

- 分析带宽等于 CISPR 测量接收机带宽的组合频谱
- 用窄带宽进行测量(EUT 为窄带骚扰时;窄带宽的应用会增加 EUT 骚扰对环境发射的比);
- 用平均值检波器测量 EUT 窄带骚扰;
- 如果无法将 EUT 骚扰和环境发射分离,则应按频谱重叠来处理。

A.4.4.2 未调制的 EUT 骚扰

用平均值检波器(按 CISPR 16-1-1 规定)测量 EUT 骚扰的幅值(见图 A.8)。测量误差取决于选定带宽内的宽带信号频谱的平均值。可以通过选择使 EUT 骚扰对环境发射的比最大化(可选方法)的测量带宽来使测量误差最小化。

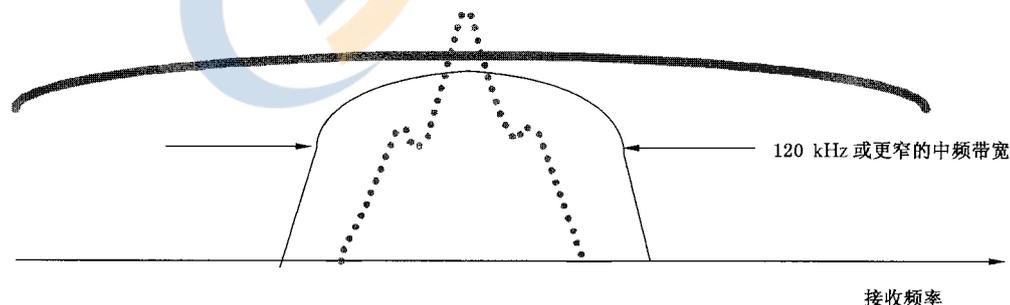


图中:
 虚线 —— EUT 骚扰;
 粗实线 —— 环境发射;
 细实线 —— 120 kHz 中频带宽。

图 A.8 未调制的 EUT 骚扰(虚线)

A.4.4.3 幅度调制的 EUT 骚扰

用平均值检波器测量 EUT 骚扰的幅值(见图 A.9),然而与准峰值检波器相比,应考虑附加测量误差,最大 6 dB(100%调制)。选定的测量带宽应能将 EUT 骚扰对环境发射的比(可选方法)最大化。



图中:
 虚线 —— EUT 骚扰;
 粗实线 —— 环境发射;
 细实线 —— 120 kHz 中频带宽。

图 A.9 幅度调制的 EUT 骚扰(虚线)

A.4.4.4 脉冲调制的 EUT 骚扰

由于骚扰的 100%调幅可能使 EUT 骚扰的频谱扩散,因此很难在宽带环境信号频谱中高准确性地检测和识别脉冲调制的 EUT 骚扰。

对高占空比脉冲骚扰,可用平均值检波器测得 EUT 骚扰的幅值。对于 100% 幅度调制的低占空比脉冲骚扰,与准峰值检波器相比,使用平均值检波器将引起测量误差增加。若占空比为 1:1,使用线性平均值检波器测量误差为 6 dB。选择的测量带宽应使 EUT 骚扰的测量平均值与环境宽带信号测量平均值比值最大化。

在低占空比下,平均值与准峰值完全分离。在这种情况下,应使用峰值检波器,其测量带宽应尽可能窄,但应足以捕捉到完整的骚扰带宽。骚扰与环境发射的重叠应予考虑。

A.4.4.5 EUT 宽带骚扰

通常,无法在宽带环境信号频谱中检测和测量宽带骚扰。也许能测量环境信号频谱外的骚扰或按频谱叠加来处理。表 A.2 中列出了 EUT 骚扰与环境发射的组合值和测量中的误差。

注:扫频接收机或频谱分析仪将显示两个不同带宽信号的频谱,除非信号频率或脉冲率彼此完全相关或每个测量仪器的扫描速率和测量脉冲率完全相关。

A.5 叠加情况下 EUT 骚扰的确定

选定 EUT 骚扰和环境发射,如果被测电平与环境电平的比值小于 20 dB,则应考虑环境发射和 EUT 骚扰的叠加。可用下面的计算公式计算脉冲宽带电压。

接收的信号 U_r 是 EUT 骚扰 U_i 和环境发射 U_a 之和。当且仅当 EUT 关闭可测量 U_a 。此叠加与峰值检波器(图 A.10)为线性关系。

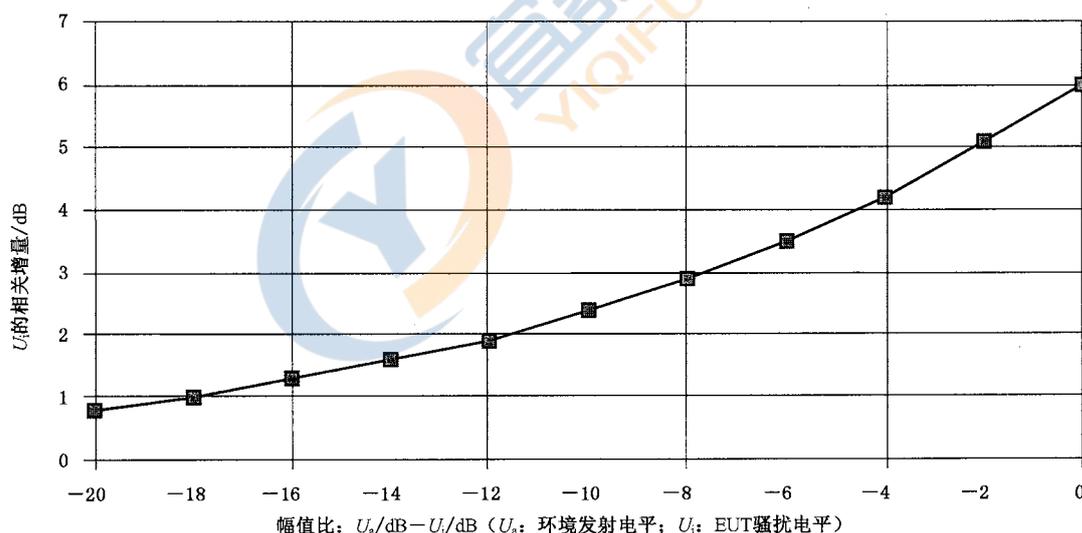


图 A.10 两个未调制信号叠加的峰值增量

式(A.1)用于峰值检波器:

$$U_r = U_i + U_a \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

EUT 骚扰可由式(A.2)计算:

$$U_i = U_r - U_a \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

接收信号与环境发射的幅值之比 d 容易测得。见式(A.3):

$$D = \frac{U_r}{U_a} \quad d = 20 \lg D \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

环境发射 U_a 可由式(A.2)替换:

$$U_i = U_r - \frac{U_r}{D} = U_r(1 - 1/D) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

或

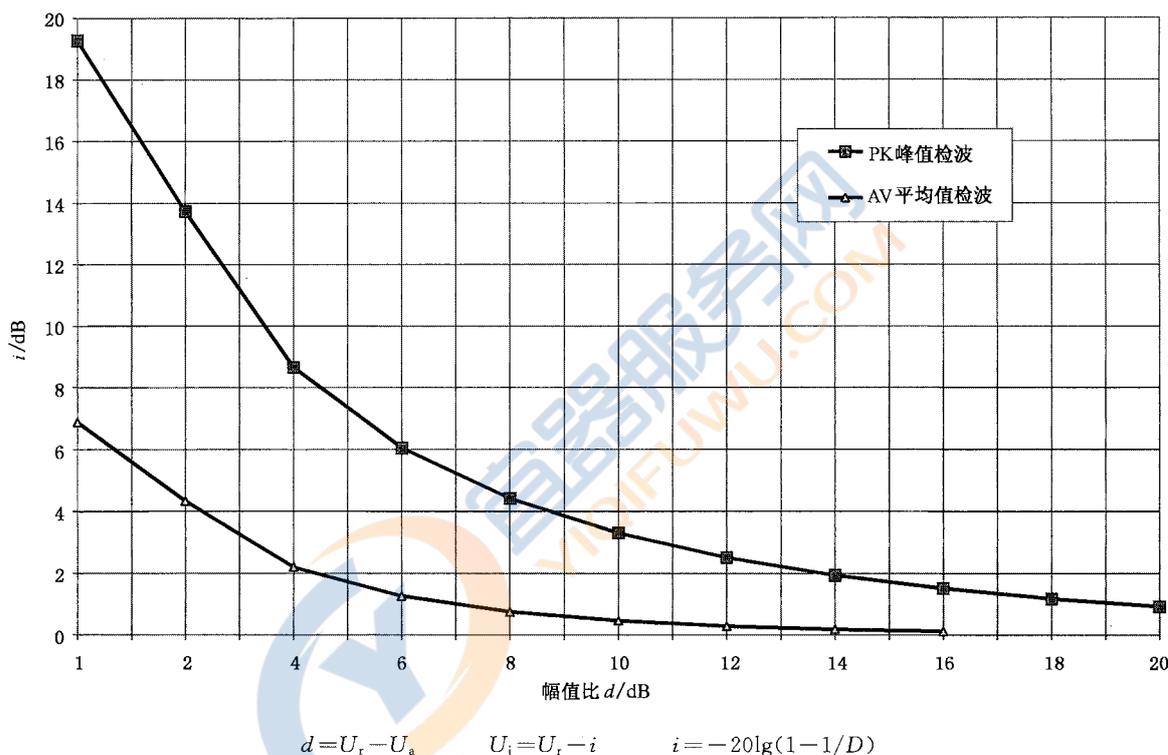
$$U_i = U_r + 20\lg(1 - 1/D) \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

“*i*”由式(A.6)计算：

$$i = -20\lg(1 - 1/D) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

用于确定 EUT 骚扰的幅值。系数“*i*”在图 A.11 中有说明。从图 A.11 中取“*i*”，EUT 的骚扰幅值可按式(A.7)计算：

$$U_i = U_r - i \quad \dots\dots\dots (A.7)$$



说明：

- U_a ——环境信号,单位为分贝(dB);
- U_r ——接收的信号(叠加),单位为分贝(dB);
- U_i ——骚扰信号,单位为分贝(dB)。

图 A.11 用幅值比 d 和因数 i 确定骚扰信号的幅值

图 A.11 可如下使用：

- 1) 测量环境场强 U_a , dB(μ V/m)(EUT 关闭);
- 2) 测量合成场强 U_r , dB(μ V/m)(EUT 打开);
- 3) 确定 $d = U_r - U_a$;
- 4) 从图 A.11 中找到 i 的值;
- 5) 用 $U_i = U_r - i$ 确定 U_i , dB(μ V/m)。

如果是用平均值检波器测量接收信号,应考虑图 A.12。图 A.12 的未调制信号由式(A.8)得出,附加测量误差小于 1.5 dB:

$$U_r = \sqrt{U_i^2 + U_a^2} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

若为调制信号,误差下降(见图 A.12),但表 A.2 中的误差应予考虑。

使用平均值检波器时,若使用平均值检波器的曲线(图 A.11),带内的骚扰可用式(A.7)估计。此时,因子 i 可用式(A.9)表达:

$$i = -10 \lg(1 - 1/D^2) \dots\dots\dots (A.9)$$

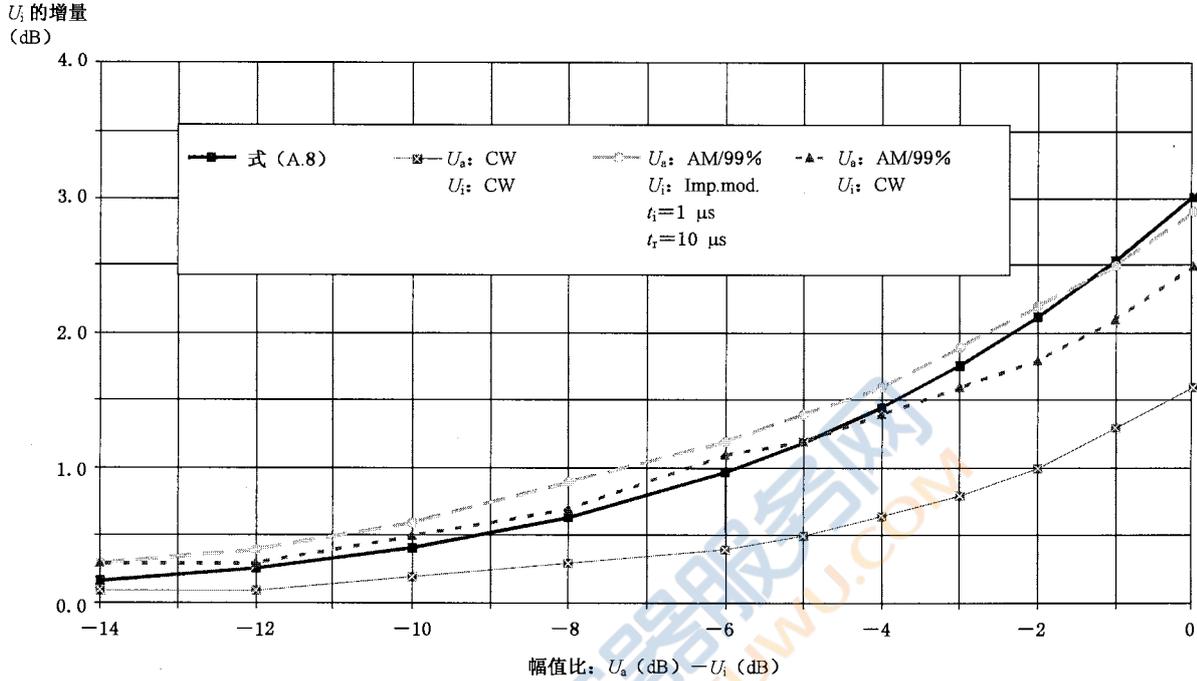


图 A.12 用实际接收机测量的平均值增量与式(A.8)的计算值

表 A.2 当环境和骚扰信号频谱叠加时与检波器类型有关的测量误差

环境发射	EUT 骚扰			
	未调制的	幅度调制	脉冲调制	宽带骚扰
窄带				
步进式增加信噪比 峰值的误差(PK/QP)	增加的选择性 0 dB	选择性 对于 C,D 频段小于或等于 +1.4 dB; 对于 B 频段+3 dB	增加的选择性 小于或等于+1 dB $\left(\frac{U_{PK}}{U_{AV}} \leq 12 \dots 15 \text{ dB}\right)$	环境发射频带外 测量
平均值误差(AV/QP)	0 dB	小于或等于-6 dB ^a	大于或等于-6 dB ^a	—
宽带				没有测量的可能 (仅按叠加处理)
步进式增加信噪比 峰值的误差(PK/QP)	选择性 +X dB ^a	选择性 小于或等于+X dB ^a	选择性 大于或等于+X dB ^a	—
平均值误差(AV/QP)	0 dB ^a	小于或等于-6 dB ^a	大于或等于-6 dB ^a	—

^a 未推荐的测量程序,不允许适用于符合性测量。

注 1: X 是取决于环境发射的脉冲特性的误差。
 注 2: PK 是峰值;QP 是准峰值;AV 是平均值。
 注 3: 频段 B、C、D 的定义见 CISPR 16-1-1。

附录 B

(资料性附录)

频谱分析仪和扫频收机的使用要求

B.1 概述

当使用频谱分析仪和扫频接收机进行测量时,应考虑下述特性。

B.2 过载

在 2 000 MHz 以下的频率范围内,大多数频谱分析仪都不具有射频预选功能,即输入信号被直接输送到宽带混频器中。为了避免过载、防止仪器损坏和使频谱分析仪工作在线性状态下,混频器输入端的信号幅度一般应小于 150 mV 峰值。为了把输入信号降至此电平,也许需要射频衰减或附加的射频预选。

B.3 线性度的试验

评估频谱分析仪的线性度,可以首先对研究的某一特定的信号电平进行测量,然后在接收机的输入端(如果使用了预选放大器,则在预选的输入端)插入大小为 X dB($X \geq 6$ dB)的衰减器,再重复进行测量。当测量系统为线性时,加入衰减后接收机显示的新读数与第一次(未加衰减器时)的读数之差应在 X dB \pm 0.5 dB 之内。

B.4 选择性

频谱分析仪和扫频接收机应具有符合 CISPR 16-1-1 中规定的带宽,以便在标准带宽内来正确测量宽带信号和脉冲信号,以及有几个频谱分量的窄带骚扰。

B.5 对脉冲的正常响应

具有准峰值检波功能的频谱分析仪和扫频接收机的脉冲响应能够用符合 CISPR 16-1-1 中规定的校准试验脉冲信号来检验。对于校准试验脉冲所具有的很高峰值电压,一般需要插入一个 40 dB(或更大)的射频衰减器,以满足线性度要求。这将导致灵敏度的降低,从而在 B、C、D 频段不能进行低重复率和孤立校准试验脉冲的测量。如果在接收机前使用预选滤波器,那么射频衰减量就可以减少。混频器可看到,滤波器限制了校准试验脉冲的频谱宽度。

B.6 峰值检波

原则上频谱分析仪的常规(峰值)检波方式可以提供永不小于准峰值指示的显示值。用峰值检波进行发射测量是很方便的,因为较之准峰值检波其允许使用更快的扫频速率。因此,那些接近发射限值的信号需要用准峰值检波重新测量,以便记录准峰值。

B.7 扫频速率

频谱分析仪或扫频接收机的扫频速率应相对于 CISPR 频段和所用的检波方式来进行调整。最小扫描时间/频率即最快扫频速率,见表(B.1):

表 B.1 最小扫描时间/频率即最快扫频速率

频段	峰值检波	准峰值检波
A	100 ms/kHz	20 s/kHz
B	100 ms/MHz	200 s/MHz
C/D	1 ms/MHz	20 s/MHz

对用于固定调谐非扫频方式下的频谱分析仪或扫频接收机,调整显示扫描时间,可以按照观测发射性能的要求来进行而与检波方式无关。如果骚扰电平不稳定,那么观察测量接收机的读数的时间应至少为 15 s,以确定最大的骚扰(参见 6.5.1)。

B.8 信号截获

间歇发射的频谱可用峰值检波和数字显示存储(如果有)来截取。与单一、慢速的频率扫频相比,多重、快速的频率扫频能减少截获发射的时间。应变化扫频的起始时间,以避免与任何发射同步而导致隐匿了的发射。对一个给定的频率范围,总的观察时间应大于发射的间隔时间。根据所测骚扰的类型,峰值检波测量能够替代所有或部分用准峰值检波所需的测量。然而在发现最大辐射的那些频率上,应当用准峰值检波器进行重复测量。

B.9 平均值检波

用频谱分析仪作平均值检波是利用减小视频带宽直到观察到的显示信号不能更平滑为止来获得的。扫描时间必须随视频带宽的减少而增加,以保持幅度校准。对于这种测量,接收机应使用在检波器的线性模式下。在线性检波之后,为了显示,信号可进行对数处理,在那种情况下,即使显示的值是线性检波信号的对数也要校正。

可能要使用对数幅度显示方式,例如,为了更容易地区分窄带和宽带信号。所显示的值是对数不失真中频信号包络的平均值。在不影响窄带信号显示的情况下,它比线性检波方式对宽带信号有更大的衰减。因此,对于频谱中包含有上述两种信号的情况下进行窄带分量评估,对数视频滤波尤为适合。

B.10 灵敏度

在频谱分析仪前使用低噪声射频前置放大器可以提高灵敏度,输入到放大器的信号电平应该用衰减器来调整,以测量整个系统对受试信号的线性度。

对于很强的宽带发射来说,需要有很大的射频衰减来保证系统的线性,此时可以在频谱分析仪前用射频预选滤波器来增加它的选择性,达到提高灵敏度的目的。该滤波器降低了宽带发射的峰值幅度,因此可以使用较小的射频衰减。也许有必要使用这样的滤波器来抑制或衰减带外强信号和由其所引起的互调干扰分量。如果使用这样的滤波器,则应用宽带信号来校正。

B.11 幅度准确度

频谱分析仪或扫频接收机的幅度精确度可以用信号发生器、功率表和精密衰减器来检验。应对这些仪器、电缆和失配损耗的特性加以分析,以评估校验中的测量误差。



附录 C (资料性附录)

使用平均值检波器时的扫频速率和测量时间

C.1 目的

本附录旨在给出使用平均值检波器测量脉冲骚扰时,扫频速率和测量时间的选择指南。

平均值检波器用于:

- a) 抑制脉冲噪声,突显被测骚扰信号中的连续波分量;
- b) 抑制幅度调制(AM)以测量调幅信号中的载波信号电平;
- c) 使用标准时间常数给出间歇、不稳定或者漂移的窄带骚扰的加权峰值读数。

CISPR 16-1-1 的第 6 章给出了 9 kHz~1 GHz 范围内测量平均值接收机的详细规定。

为了选择适当的视频带宽和对应的扫频速率或测量时间,以下条款适用。

C.2 骚扰抑制

C.2.1 脉冲骚扰抑制

脉冲骚扰的脉冲持续时间 T_p 通常取决于中频带宽 B_{res} : $T_p = 1/B_{res}$ 。要抑制此类噪声,抑制因子 a 取决于视频带宽 B_{video} 和中频带宽: $a = 20 \lg(B_{res}/B_{video})$ 。而视频带宽则取决于包络检波器前的低通滤波器的带宽。脉冲周期越长,抑制因子 a 越小。最小的扫频时间 T_{smin} 和最大扫频速率 R_{smax} 可通过式 (C.1)、式 (C.2) 计算得到:

$$T_{smin} = \frac{k \Delta f}{B_{res} B_{video}} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$R_{smax} = \frac{\Delta f}{T_{smin}} = \frac{B_{res} B_{video}}{k} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

Δf —— 为频率跨度;

k —— 比例系数,取决于测量接收机或频谱分析仪的速度。

扫频时间越长, k 就越接近于 1。当视频带宽为 100 Hz 时,表 C.1 给出了相应的最大扫频速率和脉冲抑制因子。

表 C.1 扫频速率和脉冲抑制因子(视频带宽 = 100 Hz)

	频段 A	频段 B	频段 C 和频段 D
频率范围	9 kHz~150 kHz	150 kHz~30 MHz	30 MHz~1 000 MHz
中频带宽 B_{res}	200 Hz	9 kHz	120 kHz
视频带宽 B_{video}	100 Hz	100 Hz	100 Hz
最大扫频速率	17.4 kHz/s	0.9 MHz/s	12 MHz/s
最大抑制因子	6 dB	39 dB	61.5 dB

如果骚扰信号存在短时脉冲,产品委员会可引用上表,用于制定频段 B 和 C 的准峰值和平均值限值。EUT 应该同时满足两种限值要求。骚扰信号的脉冲重复频率如果大于 100 Hz 并且满足准峰值限值要求,那么使用 100 Hz 视频带宽的平均值检波足以抑制这些短时脉冲。

C.2.2 用数字平均抑制脉冲骚扰

平均值检波可以通过对信号幅度的数字平均来实现。如果平均时间取视频滤波器带宽的倒数,可获得相同的抑制效果。此时,抑制因子 $a = 20\log(T_{av}B_{res})$,其中 T_{av} 表示在某一频率的平均(或测量)时间。因此 10 ms 的测量时间产生的抑制效果等同于 100 Hz 视频带宽产生的效果。当频率切换时,数字平均具有零延时的优势。此外,对于一个特定的脉冲重复频率 f_p ,数字平均的结果可能会变化,该变化取决于对 n 或者 $n+1$ 个脉冲进行平均。当 $(T_{av}f_p) > 10$ 时,会引起不足 1 dB 的差异。

C.2.3 对幅度调制的抑制

为了测量调制信号的载波,调制必须用足够长的时间信号平均,或使用在最低调制频率时有足够衰减的视频滤波器来抑制。如果 f_m 是最低调制频率且如果我们假设由于 100% 调制的最大测量误差限制到 1 dB,则测量时间应为 $T_m = 10/f_m$ 。

C.3 间歇时间长、不稳定或者漂移的窄带骚扰测量

CISPR 16-1-1 规定,使用 160 ms(频段 A 和频段 B)和 100 ms(频段 C 和频段 D)仪表时间常数的峰值检波器的读数来定义间歇、不稳定或者漂移的窄带骚扰的响应。这些时间常数分别对应于 0.64 Hz 或 1 Hz 带宽的二阶视频滤波器。如果要取得准确的测量结果,则需要非常长的测量时间(见表 C.2)。

表 C.2 仪表时间常数及其对应的视频带宽和最大扫频速率

	频段 A	频段 B	频段 C 和频段 D
频率范围	9 kHz~150 kHz	150 kHz~30 MHz	30 MHz~1 000 MHz
中频带宽 B_{res}	200 Hz	9 kHz	120 kHz
时间常数	160 ms	160 ms	100 ms
视频带宽 B_{video}	0.64 Hz	0.64 Hz	1 Hz
最大扫频速率	8.9 s/kHz	172 s/MHz	8.3 s/MHz

表 C.2 只是针对脉冲重复频率不超过 5 Hz 的情形。对于更宽脉冲和更高的调制频率,需要采用更宽的视频带宽进行测量(见 C.2.1)。图 C.1 和图 C.2 给出了持续时间为 10 ms 的脉冲信号在不同的重复频率 f_p 下分别采用仪表时间常数为 160 ms(图 C.1)和 100 ms(图 C.2)的 CISPR AV 检波和 AV 检波测量值的加权曲线。

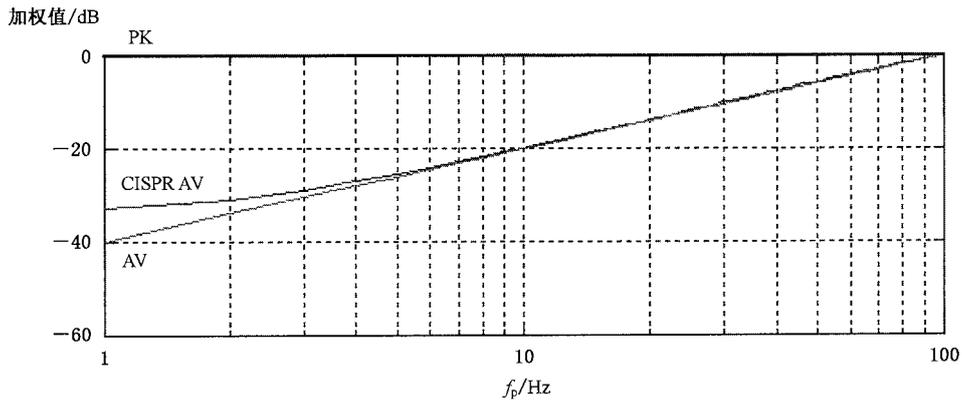


图 C.1 持续时间为 10 ms 的脉冲信号在不同的重复频率下采用仪表时间常数为 160 ms 的 CISPR AV 检波器和 AV 检波器测量值的加权曲线

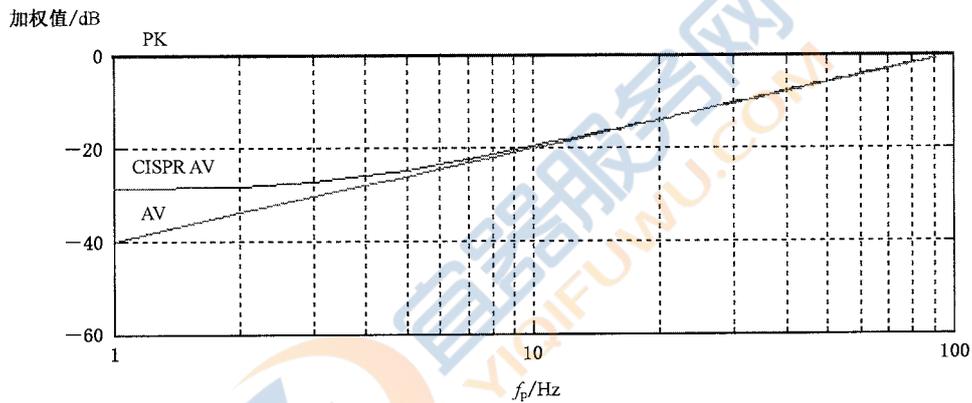


图 C.2 持续时间为 10 ms 的脉冲信号在不同的重复频率下采用仪表时间常数为 100 ms 的 CISPR AV 检波器和 AV 检波器测量值的加权曲线

图 C.1 和图 C.2 表明,随着脉冲重复频率的减小,CISPR AV 和 AV 两种检波器的结果差异逐渐增大。图 C.3 和图 C.4 给出了当重复频率为 1 Hz 时不同脉宽下的测量结果差异。

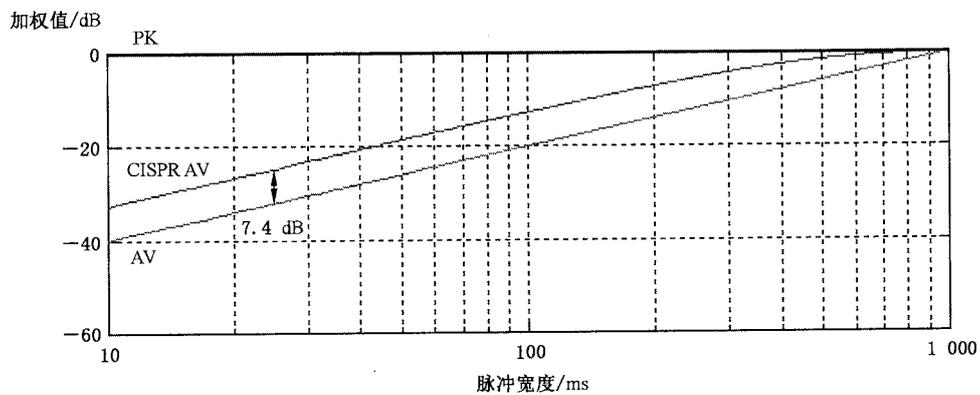


图 C.3 重复频率为 1 Hz 时不同脉宽下的时间常数为 160 ms 的 CISPR AV 和 AV 检波器的测量结果差异

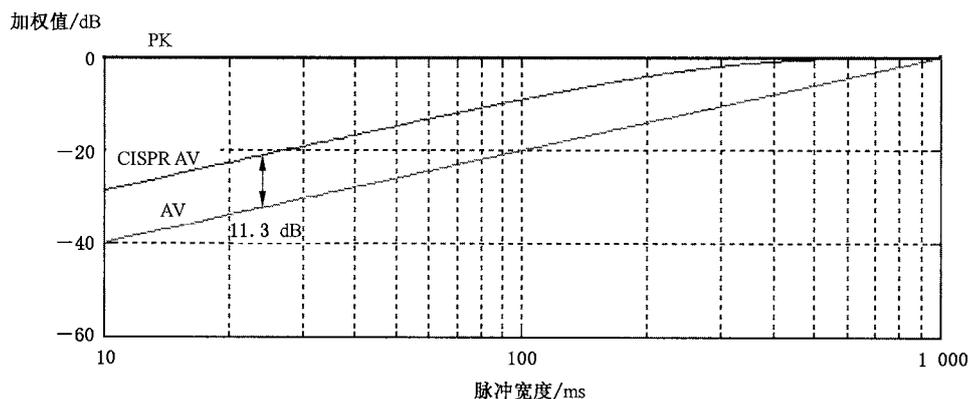


图 C.4 重复频率为 1 Hz 时不同脉宽下的时间常数为 100 ms 的 CISPR AV 和 AV 检波器的测量结果差异

C.4 自动或半自动测量推荐程序

当测量 EUT 不产生缓慢间歇的、不稳定或者漂移的窄带骚扰发射时,在预扫时推荐采用视频带宽诸如 100 Hz 的平均值检波以缩短测量时间。对于接近平均值限值的频点,最终测量时可以通过降低视频滤波器带宽,即增加平均时间来对其进行检测(对于预扫频和终测程序见本部分的第 8 章)。

对于间歇时间长、不稳定或者漂移的窄带骚扰,优先考虑手动测量方法。

附录 D
(资料性附录)

APD 测量法用于符合性试验的解释

当使用 APD 测量进行符合性试验时,可以选择下面列出的两种方法之中的任何一种。图 D.1 和图 D.2 分别给出了两种方法的说明,包括骚扰电平测量法(方法 1,见 7.6.6.3.2)和概率测量法(方法 2,见 7.6.6.3.3)。

采用峰值检波进行预测测量,在最大值保持显示模式下,如果某些频点的测量值超过规定的 APD 限值 YY dB(如果存在两种 APD 限值,则选取较高的限值),则终测时需要在这些频点进行 APD 测量。 YY 值由相关的产品委员会确定(如 $YY=5,10$ 等)。

当骚扰信号波动时,产品委员会应确定 APD 检测时的频率范围 $XX(=\Delta f \times N)$ MHz,其中 Δf 为频率跨度, N 为频率数量。频率范围应根据产品的特性决定。

首先,根据预测测量的结果确定频率范围 XX 。 Δf 应等于频谱分析仪的分辨率带宽(1 GHz 以上分辨率带宽为 1 MHz)。但是所有试验值裕量(与 APD 限值相比)不足 6 dB 的频点应使用更小的频率跨度进一步试验(例如 $B_6/2, B_6$ 为频谱分析仪的 6 dB 带宽)。当频率超过 1 GHz 时,频谱分析仪的分辨率带宽不再是 6 dB 带宽 B_6 ,而是定义为脉冲带宽 B_{imp} 。两者之间的关系取决于所采用的滤波器类型,但不能一概而论。如果 B_{imp} 与 B_6 接近时,对于 1 GHz 以上的 APD 测量,推荐用 $B_6/2$ 代替 $B_{imp}/2$ (即 0.5 MHz)。最后根据频率范围 XX 和频率跨度 Δf 确定 N 值。

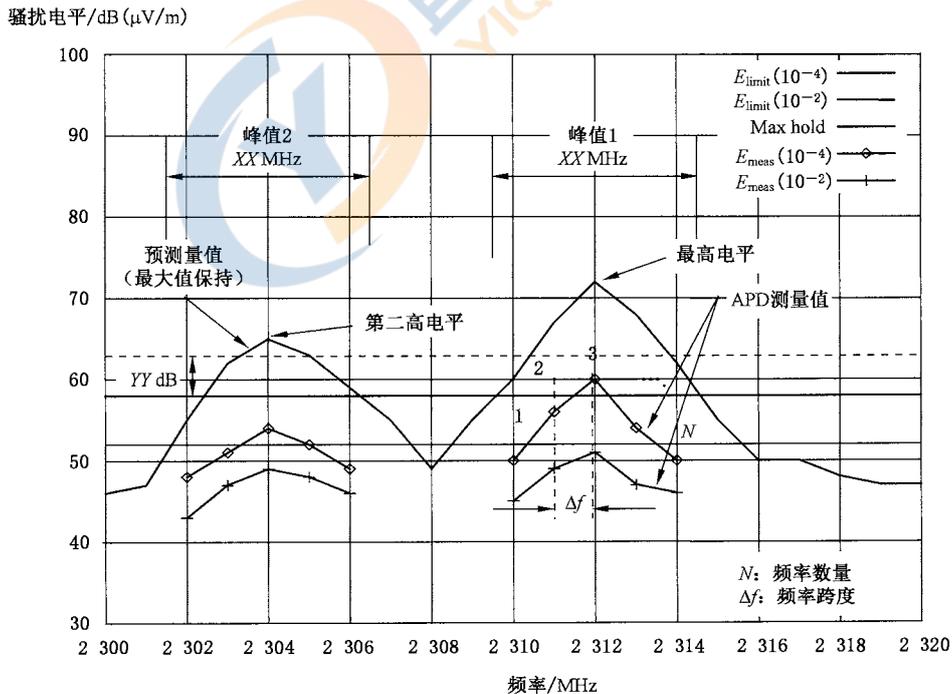


图 D.1 波动骚扰的 APD 检测法(方法 1)示例

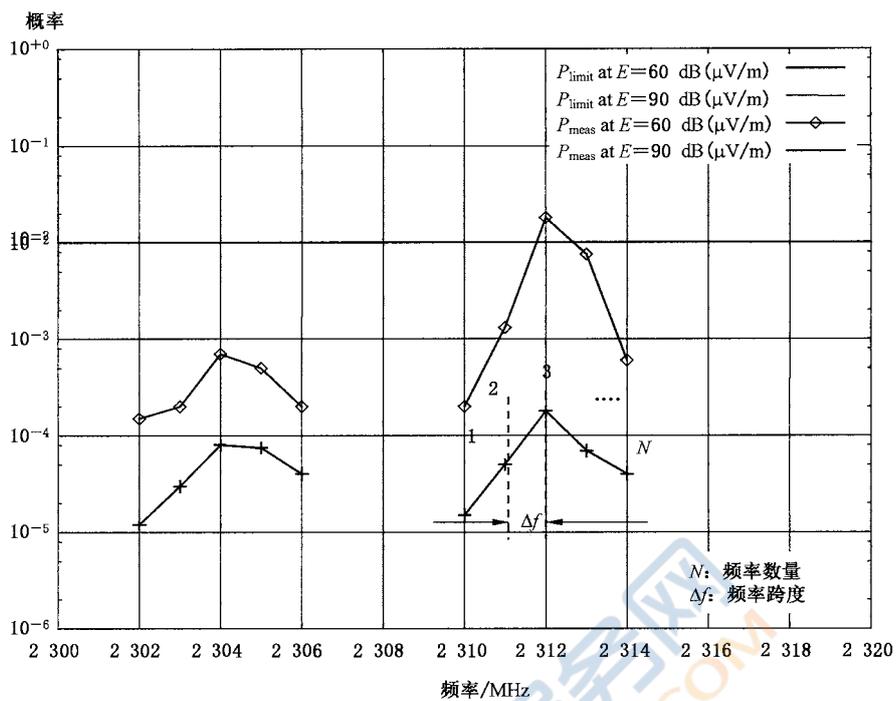


图 D.2 波动骚扰的 APD 检测法(方法 2)示例

附 录 E
(规范性附录)

频谱分析仪用于符合性试验的适用性测定

频谱分析仪的用户应能通过设备制造商的技术规范或者测量表明,频谱分析仪能够在其使用的频率范围内满足脉冲重复频率大于 20 Hz 时的准峰值检波要求。CISPR 16-1-1 规定了平均值检波器的脉冲响应要求。

由于使用频谱分析仪时,不是总能测到发射的脉冲重复频率,应采取一种简便的方法来验证准峰值测量的有效性。这个方法是基于峰值检波器和准峰值检波器测量结果的比较。由于准峰值检波器的加权特性,表 E.1 列出了脉冲重复频率是 20 Hz 的信号通过峰值和准峰值检波的幅度差。

表 E.1 峰值和准峰值检波信号的最大幅差

频段 A	频段 B	频段 C/频段 D
7 dB	13 dB	21 dB

当信号在某些频点的准峰值电平接近限值时,要采取这种比较法。如果峰值检波和准峰值检波的幅差小于表 E.1 中的值,则准峰值检波有效,频谱分析仪可以用作符合性测量。反之,应采用带有满足 CISPR 16-1-1 低脉冲重复频率准峰值检波要求的接收机来进行符合性测量。采用比较法测量要求有足够的信噪比以确保测量结果的正确。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件
- [2] GB 4824 工业、科学和医疗(ISM)射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- [3] GB/Z 6113.3—2006 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第3部分:无线电骚扰和抗扰度测量 技术报告
- [4] GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分
- [5] GB/T 27000—2006 合格评定 词汇和通用原则
- [6] CISPR 22:2006 Information technology equipment—Radio disturbance characteristics—Limits and methods of measurement
- [7] IEC 61000-4-21 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 4-21: Testing and measurement techniques—Reverberation chamber test methods
- [8] ISO/IEC Guide 2:2004 Standardization and related activities—General vocabulary
- [9] ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms(VIM)
- [10] IEC GUIDE 107 Electromagnetic compatibility—Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications