

电磁兼容测试技术选析

邓重一

(罗定职业技术学院 电子工程系,广东 罗定 527200)

摘要: 阐述了电磁兼容涉及的领域及测试的重要性。以一些测量标准为依据,详细讨论了电磁兼容测试的测量仪器设备、测试场地;环境电平、辐射和电源端传导干扰电压/电流等物理量的直接测试方法;还讨论了电磁兼容的替代测试方法及自动测量方法。最后说明了我国电磁兼容试验技术的现状和发展情况。

关键词: 电磁兼容; 干扰; 测试; 标准

中图分类号: TM 93

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)08-0092-04

电磁兼容(EMC)设计与 EMC 测试是相辅相成的。EMC 设计的好坏是要通过 EMC 测试来衡量的,只有在产品的 EMC 设计和研制的全过程中,进行 EMC 的相容性预测和评估,才能及早发现可能存在的电磁干扰(EMI),并采取必要的抑制和防护措施,从而确保产品的电磁兼容性^[1~6]。

EMC 测试包括测试方法、测量仪器和试验场所等。测试方法以各类标准为依据,测量仪器以频域为基础,试验场地是进行 EMC 测试的重要因素。EMC 检测受场地的影响很大,尤其以电磁辐射发射、辐射接收与辐射敏感度的测试对场地的要求最为严格。目前,国内外常用的试验场地有开阔场、半电波暗室、屏蔽室和横电磁波小室等。

本文主要讨论与电磁兼容测试有关的测量仪器设备、测试场地和测试方法,并讨论了我国电磁兼容试验技术等问题。

1 测量的硬件条件

1.1 测量仪器

在测试仪器方面,以频谱分析仪为核心的自动检测系统,可以快捷、准确地提供 EMC 有关参数。新型的 EMC 扫描仪与频谱仪相结合,实现了电磁辐射的可视化。可对系统的单个元器件、PCB 板、整机与电缆等进行全方位的三维测试,显示真实的电磁辐射状况^[1~6]。

采用带有准峰值和平均值检波器的干扰接收机,其性能应符合 CISPR16-1 或对应国标 GB/T 6113.1(《无线电干扰和抗扰度测量设备规范》)的要求。在标准涉及的频率范围内,一般要用 2 台不同频段的干扰接收机,分别是 10 kHz~30 MHz,30~1 000 MHz。

1.2 线性阻抗稳定网络

线性阻抗稳定网络 LISN(Line Impedance Stabi-

lization Network)又称为人工电源网络。在做电源端传导干扰电压/电流测试时,应采用阻抗为 50 Ω /50 μ H 的 LISN(V 型网络),特性应符合 CISPR16-1 和 GB/T 6113.1 的要求。联接 LISN 有两个作用:

a. 对待测设备(EUT)的电源输入端口,在高频谐波时提供一个标准线性阻抗,这样当联接到同一电源的其他设备发生变化时,不会影响 EUT 输入的电源阻抗;

b. LISN 可以滤去来自电网电源的 EMI,给开关电源提供一个“干净”的电网交流电源,不会影响对 EUT 本身传导干扰的测量结果。

1.3 测试天线

在 10 kHz~30 MHz 频段内采用具有屏蔽的环型天线。在 30~1 000 MHz 频段内采用平衡偶极子天线。

1.4 测试场地

作为 EMC 测试的实验室大体有两种类型:一种是经过 EMC 权威机构审定和质量体系认证,而且具有法定测试资格的综合性设计与测试实验室或检测中心。它包括进行传导干扰、传导敏感度及静电放电敏感度测试的屏蔽室,进行辐射敏感度测试的消声屏蔽室,用来进行辐射发射测试的开阔场地和配备齐全的测试与控制仪器设备。另一种类型是根据本单位的实际需要和经费情况而建立的具有一定测试功能的 EMC 实验室。比起检测中心,这类测试实验室规模小、造价低,主要适用于预相容测试和 EMC 评估,即为了使产品在最后进行 EMC 认证之前,具有自测试和评估的手段。

对 EUT 测试场地布置的一般要求是:EUT 的干扰电平是指试品在各种典型使用情况下,所取不同配置和试验布置时干扰值的最大值。在试验报告中应详细说明试验时试品的配置和试验布置。当 EUT 是由几个互连设备组成时,互连电缆的型号和长度应与试品技术要求中规定的相一致。若电缆长度是可改变的,则取在辐射试验中能产生最大辐射的长度。

图 1 是按某高速无线电寻呼系统寻呼接收机技术要求和测量方法(YD/T 942-1997)中对杂散发射测量的场地规定安排的示意图(要求在 30~1 000 MHz 频率范围内,任何离散的辐射杂散发射信号分量的功率小于 2 nW)。

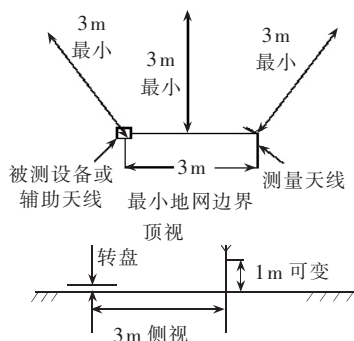


图 1 辐射性杂散发射测量原理

Fig.1 The measuring principle of radiant stray emission

1.5 测试条件

测试条件包括正常工作条件和极限工作条件。以小容量数字微波通信设备进网技术要求及测量方法(YD/T 792~958 GHz)为例,其正常工作条件是在下列工作条件下,设备应全部符合指标要求。温度为 5~40℃,室内型设备;-15~45℃,室外型设备;-40~55℃,室外无源设备;相对湿度不大于 85%(30℃);气压 86~106 kPa;电源电压额定值-48 V(或-24 V),变化范围±10%。极限工作条件是:若下列任一条件出现时,设备应能工作,但不保证技术指标。恢复到正常工作条件后,设备的技术指标应符合规定的技术要求。这些条件为温度-5~45℃,室内型设备;-20~50℃,室外型设备;相对湿度(93±2%)(30℃);气压低至 70 kPa;电源电压额定值-40~-57 V(或-21~-27 V)。

2 测试方法

2.1 直接测试方法

直接测试方法是指在按某个 EMC 标准要求的实验室测量配置和测试条件进行 EMC 测试,追求的是测试结果的准确性及与国内外测试机构之间的可比性,但费用较高。下面分别讨论环境电平的测试、30~1 000 MHz 的辐射测试和电源端传导干扰电压/电流的测量。

2.1.1 环境电平的测试

EUT 接入测量线路,但在未通电运行时,要用测量环境噪声电平的方法决定试验环境的适用性,环境电平应至少比规定的限值低 6 dB。如果环境电平和 EUT 的辐射叠加后,仍不超过规定限值,EUT 即被认为已满足规定限值。

在测量电源端传导干扰电压时,可在 LISN 和供电电网之间接入一个适当的射频滤波器,以降低环境电平。但接入射频滤波器后,在测量频率上,LISN 的

阻抗仍应满足规定要求。

在测量辐射干扰时,如果环境电平无法满足要求,则可将测量天线向试品移近后再进行测量,但限值不变。这实际上是对 EUT 的要求更加严格了。

2.1.2 辐射测试

以 30~1 000 MHz 的辐射测试为例,当 EUT 放在试验转台上时,应使设备的辐射中心尽可能地接近转台的转动中心。EUT 和测量天线的距离是指转动轴线和测量天线之间的水平距离。

关于试验的转台,如果是高出接地平板的转台,一般不应高出该平面 0.5 m;如果是与接地平板处在同一平面的转台,则转台平面一定是金属平面,且和接地平板有良好的电气连接。不管哪一种转台,非落地式试品放在转台上,离接地平板的高度应为 0.8 m。当 EUT 不放在转台上时,EUT 和测量天线之间的距离是指 EUT 边界和测量天线之间的最近水平距离。

对于 EUT 放在转台上的情况,测量天线处在水平和垂直两种极化状态时,转台都应在所有角度上旋转,应在每个测量频率上记录其辐射干扰的最高电平。测量中对天线的要求是:在 30~80 MHz 频段内,天线长度应等于 80 MHz 的谐振长度;在 80~1 000 MHz 频段内,天线长度应等于测量频率的谐振长度。另外,应该用一个适当的变换器装置使天线与馈线相匹配。还要配置一个平衡/不平衡变换器,实现与测量接收机的连接。

天线应能任意取向,分别测量其垂直极化和水平极化波分量。天线中心高度应能在 1~4 m 内调节。天线离地的最近点不应小于 0.2 m,以测出其最大值。如果使用其他形式天线的测量结果与平衡偶极子天线的测量结果的差值在±2 dB 以内,则可用其他形式天线。实际中常用的宽带天线是双锥天线(30~300 MHz)和对数周期天线(30~1 000 MHz)。

2.1.3 电源端传导干扰电压/电流的测量

测量传导干扰时,德国的 VDE(Verben Detacher Electrotechniquer)和 CISPR 标准采用有别于美国的联邦政府通信委员会 FCC(Federal Communications Commission)标准的 LISN 电路,其输入阻抗为 150 Ω,而 FCC 标准采用的 LISN 电路,其输入阻抗为 50 Ω。

传导干扰测试下限频率,VDE 和 CISPR 标准规定为 10 kHz,而 FCC 标准规定为 450 kHz;这 3 种标准规定上限频率都是 30 MHz。

在辐射试验场上测量时,EUT 应处于和辐射测量相同的状态下,且 EUT 应处在比其边界至少扩展 0.5 m 或最小尺寸为 2 m×2 m 的金属接地平板上。

在屏蔽室内测量时,可用地面屏蔽层或任意一壁的屏蔽层作为接地平板。试验时,非落地 EUT 应放在离地平板 0.4 m 高的绝缘支架或台子上。落地 EUT 则放在接地平板上,其接触处应相互绝缘或与正常使用时一致。所有 EUT 离其他金属物体的距离应大于 0.8 m。

LISN 的外表面和 EUT 边界之间的最近距离应

小于 0.8 m。网络的参考接地端应该用尽量粗短的导线接到接地平板上。电源电缆和信号电缆和信号电缆走线与接地平板之间的相关情况应与实际使用情况等效,并应十分小心地布置电缆,以免造成假响应效应。图 2 为在屏蔽室内测量时,传导干扰测量的典型布置。

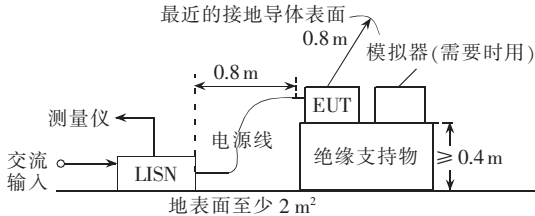


图 2 在屏蔽室内测量时,传导干扰测量的典型布置

Fig.2 The typical disposition of conductive interference measuring in shield room

当 EUT 有特别的接地端子时,应该用尽量短的导线接地。不装有特别接地端子的 EUT 应在其正常连接方式下进行试验,即从供电网上取得接地。由制造厂提供软性电源线的设备,其电源线的长度应为 1 m。如果实际长度超过 1 m,则超过部分应来回折叠成 0.3~0.4 m 的线束。如果 EUT 由几个单元组成,而且每个单元都具有电源线,在与 LISN 连接时,测量按下列规定:

- 接在标准电源插头的每根电缆都应分别测量;
- 制造厂未规定须从系统中另一单元取得供电电源的电源线或端子都应分别测量;
- 由制造厂规定须从系统中某一单元取得电源的电源线或端子应接至该单元,而将该单元的电缆或端子接至 LISN 进行测量;
- 当 EUT 为了安全目的的需要接地时,接地线应接在 LISN 的参考接地点上;除了由制造厂提供接地线长度应为 1 m,并与 EUT 电源线平行敷设,其间距不大于 0.1 m。

2.1.4 额定增益测量

以 900 MHz 直放机技术要求及测量方法(YD/T 952-1998)为例,作如下说明。

- 额定增益是指直放机在线性输出状态下最大输入电平时设备的放大能力。
- 信号发生器输出端口经可变衰减器 A 连接到被测直放机的输入端口,被测直放机输出端口经 30 dB 功率衰减器连接到功率计,如图 3 所示。

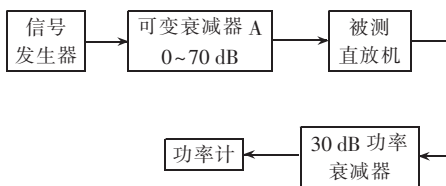


图 3 额定增益测量方框图

Fig.3 The block diagram of rated gain measuring

c. 可变衰减器 A 的衰减量调到最大。将未调制的信号发生器频率调为直放机中心频率,输出电平为 0 dBm,改变衰减器 A 的衰减量使直放机输入电平 L_{in} 为 -62 dBm。直放机增益调至最大。

d. 由功率计直接读电平 X dBm。

e. 直放机的线性输出电平 $L_{out} = X + 30$ (dBm)。

f. 直放机的额定增益 $G = L_{out} - L_{in}$ (dB)。

g. 改变直放机增益控制,观测输出功率变化范围(检查增益控制范围)。

2.2 替代测试方法

由于上述实验室测量配置价格不菲,如果还要涉及到测试场地,则不是一般生产企业所能承受得了的。而替代测试方案,在确保有一定可比性的前提下,可尽量降低配置成本,为更多的企业能接受。

国际曾有人建议对小型电子设备采用类似于 CLSPR14-1(对应国标 GB4343-1《家用和类似用途电动、电热器具、电动工具以及类似电路的无线电干扰特性的测量方法和允许值》)中所提供的吸收钳(或称为功率探针、铁氧体钳)方法测试 EUT 对外的辐射功率。利用吸收钳可以测量 5~300 MHz 的传导干扰功率。采用此法的前提是 EUT 尺寸较小,其辐射到空间的能量主要是通过 EUT 的电源线等逸出的。因此,对这部分能量的测量可以用一个环绕电源线的吸收装置实现。这个吸收装置便被称为吸收钳。这个方法的优点是简便易行,对环境要求不高,在屏蔽室里便可进行,而且测试结果有很好的重复性和可比性。图 4、图 5 分别为电压探针和电流探针原理图。图 6 为电流探针测量电流传导干扰原理图。功率探针原理见图 7。

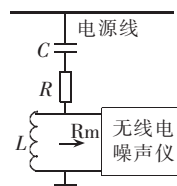


图 4 电压探针原理图

Fig.4 The principle diagram of voltage probe

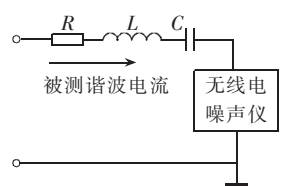


图 5 电流探针原理图

Fig.5 The principle diagram of current probe

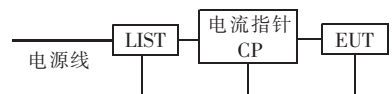


图 6 用电流探针测量电流传导干扰原理图

Fig.6 The principle diagram of current conductive interference measuring with current probe

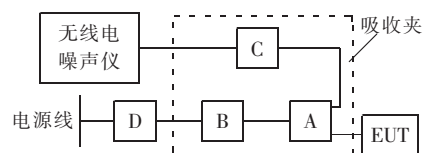


图 7 功率探针原理图

Fig.7 The principle diagram of power probe

此法已在 CISPRG 分会上作为对 CISPR22(对应国标 GB9254《信息技术设备的无线电干扰限值和测量方法》)的修订方案通过了该分会技术委员会的草案(CD),现已进入到秘书处起草成国际标准草案(FDIS)的阶段。

替代测试法在技术上有一定可行性,且方法简单、重复可比,配置价格较低。只是吸收钳法与辐射干扰的直接测量法之间还存在一个数据比对问题,但就方法而言,仍不失为一般企业可采取的一个很好的试验方法。

2.3 自动测量法

以 YD/T 952-1998 规定的 900 MHz 直放机技术要求自动测量方法为例,其测量框图如图 7 所示。直放机工作于线性状态,增益调至最大。噪声系数测量仪电源输出连接到噪声发生器对其驱动和调制,噪声发生器输出连接到噪声系数测量仪输入(如图 8 虚线所示),对噪声系数测量仪进行校准。噪声发生器和噪声系数测量仪之间接入被测直放机,从噪声系数测量仪上直接读出被测直放机的噪声系数 NF 。有条件时应优先采用自动测量法。

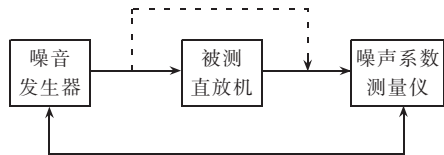


图 8 噪声系数自动测量法测量方框图
Fig.8 The block diagram of automatic noise coefficient measuring

3 结语

我国 1998 年已立法强制对六类进口电子产品(计算机、显示器、打印机、开关电源、电视机和音响)及通信终端产品施行 EMC 检测。1999 年国家质量监督局发布了《EMC 认证管理办法》。我国电子技术标准化研究所 EMC 测试实验室被美国联邦通信委员会通过了 FCC 认可。从 2000 年 2 月 16 日起,出口美国的信息技术设备和发射及接收设备,由该实验室

出具的数据将被美国直接接受。EMC 测试必须依据 EMC 标准和规范给出的测试方法进行,并以标准规定的极限值作为判据。对于预相容测试,尽管不可能保证产品通过所有项目的标准测试,但至少可消除绝大部分的电磁干扰,从而提高产品的可信度,且能够指出如何改进设计、抑制 EMI 发射。

由于 EMC 测试是个复杂过程,而且与测试者经验和测试技术有关,所以测试结果重复性不理想。这样,建立自动测试系统,研究新的算法和测试手段就成为今后研究的热门课题。

参考文献:

- [1] 朱文立.开关电源的电磁骚扰抑制技术[J]. 电子质量, 2002, (9):91-93.
ZHU Wen-li. How to suppress the EMD from switching-mode power supply[J]. **Electronics Quality**, 2002, (9):91-93.
- [2] 周志敏,周纪海.开关电源实用技术设计与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] 白同云.电磁兼容设计[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2001.
- [4] 钱照明,吕征宁,何湘宁.开关电源的 EMC 设计[J]. 电源世界, 2002, (2):12-16.
QIAN Zhao-ming, LÜ Zheng-ning, HE Xiang-ning. The design of electromagnetic compatibility in switching-mode power supply[J]. **The World of Power Supply**, 2002, (2):12-16.
- [5] 山崎弘郎.电子电路的抗干扰技术[M]. 北京:科学出版社, 1989.
- [6] 吴本炎.电子电路的电磁兼容性[M]. 北京:人民邮电出版社, 1982.

(责任编辑:柏英武)



作者简介:

邓重一(1962-),男,湖南宁远人,系主任,副教授,中国电子学会高级会员,研究方向为检测技术、信号处理、EDA 技术及电磁兼容技术(E-mail: dhy229@163.com)。

Analysis of electromagnetic compatibility test technologies

DENG Zhong-yi

(Department of Electronic Engineering, Luoding Vocational and Technological College, Luoding 527200, China)

Abstract: The fields involved in electromagnetic compatibility and the importance of its test are introduced. Based on some measurement standards, the test instrument, test environment are discussed, as well as the direct methods for environmental level, radiation and conductive interference voltage/current at power side, etc. The alternative test methods and automatic measuring methods are presented. The status quo and development of electromagnetic compatibility test technologies in China are illuminated.

Key words: electromagnetic compatibility; interference; test; standards