

测量不确定度的实验研究

徐小文^① 苏东林^① 郭俊峰^① 刘志航^②

^①(北京航空航天大学 北京 100083)

^②(中国航天科工集团公司三院35所 北京 100013)

摘要 该文在电源线传导发射测试的基础上对测量不确定度在电磁兼容测试中的影响进行了统计分析。该文分析了 A 类和 B 类标准不确定度以及系统误差。结果表明实验布置的细微差别都会给测试结果带来很大的影响。

关键词 电磁兼容性, 传导发射测试, 不确定度

中图分类号: TM930.12⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)10-1963-04

The Measurement Uncertainties of Conducted Emission

Xu Xiao-wen^① Su Dong-lin^① Guo Jun-feng^① Liu Zhi-hang^②

^①(Bei Hang University, Beijing 100083, China)

^②(No.35 Institute of CAST, Beijing 100013, China)

Abstract Based on the conducted emission measurements for the power line, the measurement uncertainties which affect the Electro Magnetic Compatibility(EMC) test are analyzed. This paper investigates the type A and type B uncertainties and the systemic errors. The results show that the tiny difference of the test setup can bring much difference.

Key words EMC, Conducted emission measurement, Uncertainty

1 引言

随着EMC试验技术的发展,测量不确定度已经成为评估产品是否符合相应标准的关键性指标。虽然有各种标准对测量试验做详细规定,但其中仍旧存在一定的自由度,例如在GB/T6113.1-1995中最大正弦电压的测量误差规定“最大为2dB”^[1]。同时,重复试验时测量仪器的状态、测试地点、测试人员、测试时间的变化,使得如何保证测试结果的真实性及准确性成为亟待解决的问题。

国外,测量不确定度的相关研究已经展开很久,1993年国际标准化组织(ISO)出版了《测量不确定度导则》,并且关于EMC测量不确定度的第一个正式出版物CISPR16-4《无线电骚扰和抗扰度量仪器和测量方法——第4部分:EMC、测量不确定度》在2002年出版。

本文以EMC电源线传导发射测量为例,在实际测试的基础上,对测量不确定度给试验结果的真实性、有效性带来的影响进行了有意义的探究。

2 测试系统的搭建

该测量系统是根据GB/T6113.1-1995^[1]和GB/T6113.2-1995^[2]的规定建立的。具体试验装置如图1所示。此次测试选用的是电源阻抗稳定网络法测量待测设备(EUT)沿电源线向电网发射的干扰电压,测试频率范围为150kHz~30MHz,测试在屏蔽室内进行。选用的测试仪器主要有频谱仪HP8593EM(全屏扫描点数为401个),试验中设中频带宽为

9kHz, 驻留时间为15ms, 衰减10dB; 线性阻抗稳定网络为50Ω/50μH+5ΩV 电源网络, 理论输入阻抗见图2, 容差为±20%; 若干连接电缆。EUT选用的是普通调压台灯, 灯泡功率100W, 外壳全部为绝缘材料。同时, 本次试验建立在

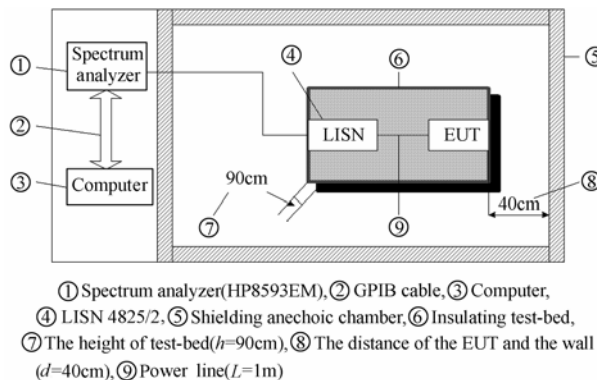


图1 电源线传导发射试验布置图
Fig.1 Reference test setup for conducted emission measurement

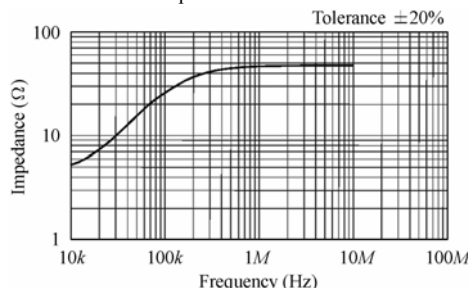


图2 LISN阻抗特性曲线
Fig.2 LISN impedance

LabVIEW7.0软件平台上,通过虚拟仪器控制程序中控制参数的设置,实现了计算机的实时、自动控制,降低了手动操作的复杂性。

3 评估测量不确定度的流程

由于测量前的观测值是不可预测的,因此选用一组观测值作为分布的样本,用研究随机变量的方法来处理观测值,这样就可以用样本标准偏差来表示测量结果的分散性。根据表示方法的不同,测量不确定度分为标准不确定度、合成不确定度和扩展不确定度^[3]。

为了得到可信性高的测量不确定度,一般遵照下列步骤进行^[5]:

(1)首先确定测量结果的函数表达,明确直接和间接影响测量结果的因素,以及各个因素对结果影响的大小。

本次传导发射试验中,测量直接通过阻抗稳定网络(LISN)的监视测量端进行,该端口通过电容耦合的形式,将电源线上EUT产生的干扰电压引出。测量等效电路见图3^[2]。图中 Z_s 是EUT的对称内阻, L 是连接线的电感, Z_{11} 和 Z_{12} 是EUT的共模电阻, U_{11} 和 U_{12} 是EUT的共模电压, C_1 是EUT相对于屏蔽墙的杂散电容, C_2 是EUT内部相对于金属件存在的杂散电容, C_k 是电源网络中的耦合电容, Z_M 是模拟电阻50Ω, U_M 是测量电压(即频谱仪的示数)。

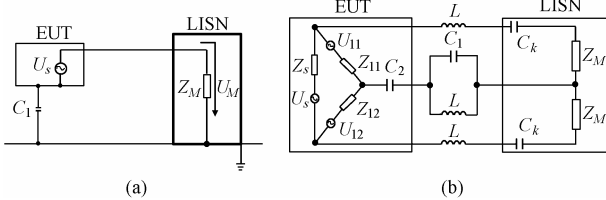


图3 传导发射等效电路示意图

Fig.3 Conducted emission measurement equivalent circuit

如果设 C_1 为 Z_D ,就可以得到一个很简单的电路,以此来评估由LISN引起的不确定度,此时的测量电压为

$$U_M = \frac{Z_M}{Z_D + Z_M} U_S \quad (1)$$

设LISN允许的输入阻抗误差值为 ΔZ_M ,就可以得到频谱仪示值 U_M 和真实值 U_R 之间的差值 ΔU_M ,

$$\left| \frac{\Delta U_M}{U_R} \right| = \left| \frac{\Delta Z_M}{Z_M} \right| \left| \frac{Z_D}{Z_D + Z_M + \Delta Z_M} \right| \quad (2)$$

由式(2)可以看到,要得到较小的 ΔU_M ,必须要求 ΔZ_M 和 Z_M 的比值的绝对值很小。高频的时候, Z_D 就会增加,假设最不理想的情况下, Z_D 比 Z_M 要大很多,因此LISN的输入阻抗误差达到最大,即

$$\left| \frac{\Delta Z_M}{Z_M} \right| = 20\%, \quad \left| \frac{Z_D}{Z_D + Z_M + \Delta Z_M} \right| \square 1, \quad \left| \Delta Z_M \right| = 0.2 |Z_M|, \quad \left| \frac{\Delta U_M}{U_R} \right| = 0.2 \quad (3)$$

(2) 分别进行A, B类不确定度的评估 A类标准不确定度是用统计分析的方法对一系列观测值来进行评定的。本次试验重复试验15次,分析如下^[3]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k \quad (4)$$

$$s(\bar{X}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \left[\sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X})^2 \right]} \quad (5)$$

A类标准不确定度即为 $u_A(x) = s(\bar{X})$ 。

我们首先测试了EUT连接LISN但EUT不工作状态下的噪声电平,然后测试了EUT工作状态下的传导干扰,曲线分别见图4。观察得知,2MHz到30MHz的信噪比很小,数据的可信度值得怀疑。根据式(5),我们计算得到到试验的A类不确定度,曲线见图5。

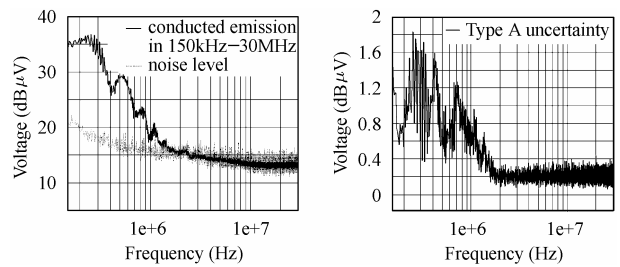


图4 电源线传导发射(150kHz-30MHz)测量以及EUT连接LISN但是不工作状态下的噪声电平

Fig.4 Conducted emissions Measurement(150kHz – 30MHz) and noise level when the EUT is connected to LISN but not in operating mode

图5 电源线传导发射A类标准测量不确定度

Fig.5 Type A uncertainty evaluation of conducted emissions measurement

B类标准不确定度则是根据有关装置(含仪器)和材料的性能、测试装置制造厂的技术说明书、校准或其他证书提供的数据、产品手册提供的不确定度等信息来评定。该试验系统各个测试设备的B类不确定度见表1。

表1 传导发射测量B类不确定度评估

Tab.1 Type B uncertainty evaluation for conducted emission measurement

测试仪器	不确定度(dB)
频谱仪	1.33
线性阻抗稳定网络	1.5
连接线缆(BNC接头)	0.5

(3)计算合成标准不确定度 在知道了A类和B类不确定度的情况下,可以进一步得到合成不确定度^[3]。设初等函数 $y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$,那么通过测得的 X_i 的输入估计值 x_i ,求得 Y 的估计值 $y, y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。根据不确定度的传递性,最后可得:

$$u_n^2(y) = \sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad (6)$$

其中 $c_i^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2$,称为灵敏系数,表示输出估计值随输入估计值变化的变化; $r(x_i, x_j)$ 是相关系数。

(4) 计算扩展不确定度 知道了合成不确定度, 就能得到总不确定度, 即扩展不确定度,

$$U = k u_c(y) \tag{7}$$

根据不同的置信水平, 我们可以查得包含因子 k , 进而求得总不确定度。

4 系统误差分析

本节中, 我们就本测试系统对系统误差进行初步分析。引起系统误差的原因有测量装置的不完善, 以及对测量有关的物理现象的认识不完全。如果这部分误差没有确认, 就会成为人为导致不确定度的原因之一。同时, 由于标准中存在着一定的自由度, 也会导致试验结果的修正, 但这不属于系统误差。

本节中的每个试验都重复了5次, 测试结果取5次平均值, 并将其与图4中的测试结果进行对比。为了更好地理解试验布置对测试结果的影响, 我们可以回顾图3 (b)。

试验设计如下:

(1)改变EUT距离屏蔽墙的距离 d 根据GB/T6113.2-1995, d 应该等于40cm。当改变了 d 从而引入系统误差时, C_1 的值就会发生改变, 如果不被发现, 它就成为测量不确定度的一部分。图6(a)显示了 d 分别为40cm, 60cm, 80cm时的传导发射, 图6(b)显示了 d 为0.4m和0.8m测量值的偏差。

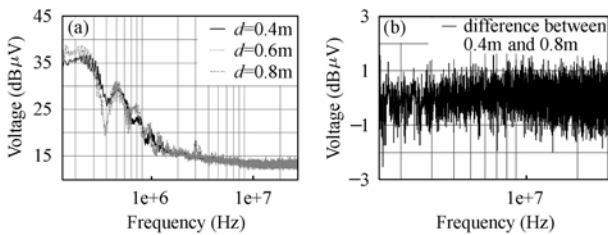


图6 (a)EUT距离屏蔽墙 $d=0.4m, 0.6m, 0.8m$ 的测量值 (b)EUT距离屏蔽墙 $d=0.4m$ 和 $0.8m$ 的测量差值

Fig.6 (a)Results for different distances ($d=0.4m, 0.6m, 0.8m$) of the EUT to the wall

(b)Difference of results or different distances ($d=0.4m, 0.8m$) of the EUT to the wall

(2)改变电源线 L 应该小于等于 $1m^{[2]}$ 。当我们改变了 L 进而引入系统误差时, 如果不被发现, 它就成为测量不确定度的一部分。图7(a)和图7(b)显示了其余设置均按照GB/T6113.2-1995的规定不变, 而 L 分别为1m与2m时测得的不同传导发射值。

(3)改变频谱仪的驻留时间 根据GB/T6113.1-1995, 150kHz-30MHz频段内频谱仪的驻留时间最小设置为15ms。当然, 驻留时间足够得长对我们得到十分精确的测量值有很大的帮助, 但是选择较长的驻留时间将严重影响测量的效率。所以测量中选择合适的驻留时间就显得极为重要。我们分别设驻留时间(dt)为15ms和100ms来进行测量, 得到了不同的测量结果。图8(a)和图8(b)显示了不同的驻留时间对试验结果影响的大小

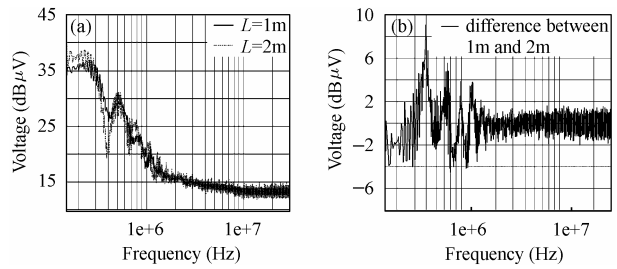


图7 (a)电源线长度为 $L=1m, 2m$ 的不同测量值 (b) 电源线长度为 $L=1m, 2m$ 的测量差值

Fig.7 (a)Results for different lengths ($L=1m, 2m$) of the power line, (b) Difference of results for different lengths ($L=1m, 2m$) of the power line

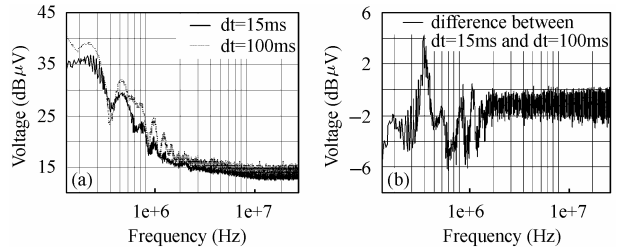


图8 (a)驻留时间分别为 $dt=15ms, 100ms$ 时的不同测量值 (b)驻留时间为 $dt=15ms, 100ms$ 的测量差值

Fig.8 (a)Results for different dwell time ($dt=15ms, 100ms$) of the spectrum analyzer (b)Difference of results for different dwell time ($dt=15ms, 100ms$) of the spectrum analyzer

5 系统误差的消除或减弱

在测量过程中, 一旦发现有测量误差存在, 必须要对其进行分析, 找出消除或者减小系统误差的方法。这些方法和不同的仪器设备、测试方法、测试人员的经验等多种因素有关。常用的方法有^[4]:

(1)测试系统的校准 测量前, 要对测试设备通电预热, 使其达到稳定的工作状态。施加一个校准信号到LISN的电源输入端(即EUT输入端), 检查电压波形是否正常。用频谱仪以正常数据扫描的方式对每个频点进行扫描, 检查记录的数据是否在规定的范围之内。如果为防止过载而添加了抑制滤波器, 发射数据必须加上该滤波器的插入损耗。

(2)修正方法 这种方法要求事先得到测量设备的系统误差, 做出误差表或者误差曲线, 然后得到修正值, 将该值加到测量结果中来消除系统误差。由于修正值本身也包括一定的误差, 因此用该方法不能完全消除系统误差。对于这种残留的系统误差, 则按随机误差处理。

6 结束语

本文主要讨论了频段为150kHz-30MHz电源线传导发射测量不确定度的评估过程, 以及试验设置细微改变后对不确定度的影响。对于总不确定度, 除了LISN、频谱分析仪、连接线缆(BNC接头)等带来的影响, 试验系统的设置也产生了影响。针对本次试验所选用的普通调压台灯作为EUT, 我们可以发现, 试验布置的细微差异(如EUT距离屏蔽墙的不同), 对测试结果的影响能达2dB以上, 有的甚至达到10dB。

这种差异说明了测试人员进行EMC测试中,必须对测量不确定度的影响给予足够的重视,对测试结果进行科学的评判,防止错判或误判。

参 考 文 献

- [1] GB/T6113.1-1995 无线电骚扰和抗扰度测量设备规范.
- [2] GB/T6113.2-1995 无线电骚扰和抗扰度测量方法.
- [3] 钱绍圣. 测量不确定度实验数据的处理与表示. 北京: 清华大学出版社, 2002: 35 - 112.
- [4] 宋明顺. 测量不确定度评定与数据处理. 北京: 中国计量出版社, 2000: 232 - 240.
- [5] Tan Haifeng; Liu Ping; Sha Fei. The general process to evaluate uncertainty in EMC measurement. 2002 3rd International

Symposium on Electromagnetic Compatibility, Beijing, China.
21 - 24 May, 2002: 226 - 229.

- 徐小文: 女, 1981年生, 硕士生, 研究方向为电磁兼容测试, 以及电磁兼容设计等.
- 苏东林: 女, 1960年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为源集成射频微波电路、天线与系统设计、信号完整性及系统环境电磁兼容技术等.
- 郭俊峰: 男, 1977年生, 硕士生, 主要研究方向为电磁兼容测试、虚拟仪器技术等.
- 刘志航: 男, 1981年生, 助理工程师, 主要研究方向为电磁兼容、电路工艺等.