

# 辐射电磁干扰近场测试校准算法研究

孙红艳<sup>1</sup>, 刘 勇<sup>2</sup>, 颜 伟<sup>2</sup>, 张宇环<sup>2</sup>, 赵 阳<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学 泰州学院 江苏 泰州 225300)

(2. 南京师范大学 电气与自动化工程学院 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 对辐射干扰噪声产生的机理进行了较为全面的分析研究,设计了一种辐射电磁干扰的近场测试方案和辐射干扰源,并针对辐射电磁干扰近场测试精度低的问题,提出了一种基于方差分析的多项式拟合校准算法,以 3 m 法暗室测试结果为校准算法的基准,并采用 matlab 进行了算法处理,对校准精度进行了实验验证,结果表明:经过校准算法处理,近场测试结果能够与 3 m 法暗室测试结果基本吻合,验证了该校准方法的有效性。

**[关键词]** 辐射 EMI 精度 方差 校准 matlab

**[中图分类号]** TM15 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011)03-0006-04

## The Research on Radiated Electromagnetic Interference Near-Field Test Calibration Algorithm

Sun Hongyan<sup>1</sup>, Liu Yong<sup>2</sup>, Yan Wei<sup>2</sup>, Zhang Yuhuan<sup>2</sup>, Zhao Yang<sup>2</sup>

(1. Taizhou College, Nanjing Normal University, Taizhou 225300, China)

(2. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** In this paper the mechanism of radiated interference noise is comprehensively analyzed, and both an radiated EMI near-field test method and a kind of radiated interference source are designed. For the low accuracy of radiated EMI near-field test, a polynomial fitting calibration algorithm based on variance is proposed, and the result of 3 m chamber is the baseline of the calibration. In addition, the algorithm processing is carried out by using of matlab, and the calibration accuracy is verified by an experiment. The experiment result shows that the near-field test result can be consistent with 3 m chamber test result after calibration, and proves that the calibration method is effective.

**Key words:** radiated EMI, accuracy, variance, calibration, matlab

随着电子设备和电子产品向微型化、智能化方向发展以及大量高频器件的应用,使得电子产品的电磁兼容问题愈加严重,其中辐射电磁干扰是影响电子产品电磁兼容性能的一个主要因素<sup>[1]</sup>。辐射噪声的精确测试对于诊断电路辐射机理,制定相应的噪声抑制方案具有非常重要的意义<sup>[2]</sup>。

针对电路辐射噪声进行测试的手段有两种:近场测试和远场测试<sup>[3]</sup>。其中远场测试是目前辐射电磁干扰噪声测试的主要方法,主要包括开域场(OAT)测试方法、10 m 和 3 m 电波暗室测试方法等,这些方法都能比较精确地测试被测设备的辐射电磁干扰噪声,并且能够根据相关标准判断测试是否超标。但是,远场测试通常对测试环境要求非常苛刻且测试手段复杂<sup>[4-5]</sup>。为了解决该问题,本文进行了近场测试算法校准的研究,以 3 m 暗室测试结果为标准,对近场测试结果进行校准,并提出了基于方差分析的校准算法以提高近场测试精度。

## 1 辐射电磁干扰近场测试

### 1.1 辐射干扰机理分析

辐射电磁干扰根据其产生机理不同可分为共模辐射和差模辐射。其中,共模辐射主要是由于非良好接

收稿日期: 2011-06-10.

通讯联系人: 赵 阳,教授,博士生导师,研究方向:电磁兼容. E-mail: zhaoyang2@njnu.edu.cn

地或者接地点的电位反射引起的等效短路直天线辐射效应; 而差模辐射主要由于未较好控制的大信号环路引起的等效电路环天线辐射效应<sup>[6,7]</sup>。根据共模和差模辐射原理及天线理论, 可将辐射干扰分为两种模型, 即将基本共模辐射单元描述为电偶极子辐射模型, 而将基本差模辐射单元描述为磁偶极子辐射模型。

由麦克斯韦方程及电偶极子模型辐射理论<sup>[8]</sup>, 假定共模辐射模型为一个由电压源驱动的短波直偶极子天线, 且取最大辐射场强方向, 则电偶极子辐射(即共模辐射)场强在远场处的表达式可推导为:

$$E_{CM} = 12.6 \times 10^{-7} (f L I_{CM}) \left( \frac{1}{r} \right), \quad (1)$$

其中  $f$  是信号频率;  $I_{CM}$  是电路中的共模电流;  $L$  为辐射电路导线长度;  $r$  为测试距离。

针对差模辐射, 假定差模辐射模型为一小环路电流并且考虑接地全反射, 同样取最大辐射场强方向, 则磁偶极子(即差模辐射)场强在远场处的表达式可推导为:

$$E_{DM} = 2.63 \times 10^{-14} (f^2 A I_{DM}) \left( \frac{1}{r} \right), \quad (2)$$

其中  $f$  是信号频率;  $I_{DM}$  是电路中的差模电流;  $A$  为电路环路面积;  $r$  为测试距离。

对比分析(1)、(2)两式可得, 共模场强大小与信号频率、辐射电路导线长度、共模电流大小成正比, 而与测试距离成反比; 差模辐射场强大小与信号频率的平方、电路环路面积、差模电流成正比, 同样与测试距离成反比。

## 1.2 辐射干扰近场测试

建立如图1所示的辐射干扰近场测试系统, 利用固伟 GSP-827 频谱仪作为信号接收装置, 最高测量频率可达 2.7 GHz, 同时采用罗德施瓦茨公司的探头组“HZ-11”作为近场电磁场测量设备, 包括磁场探头(Loop 3 cm)和电场探头(Stab 6 mm), 频率范围 10 kHz ~ 2 GHz。

为辅助测试试验的有效进行, 设计了辐射干扰源, 如图2所示, 采用一块含有晶体振荡器的双层 PCB, 它主要由一个 9 V 转 5 V 的 L7805CV 芯片和一个 10 MHz 的晶振构成, 负载为 50  $\Omega$  电阻。由于单晶振产生的辐射干扰强度较小, 将导致测量曲线趋势变化不明显, 本文在 50  $\Omega$  负载阻抗一端接入了 50 cm 长的线缆, 以增加差模辐射大小。分别采用近场探头和 3 m 法暗室对被测辐射干扰源进行测试, 测试结果分别如图3(a)、(b)所示。

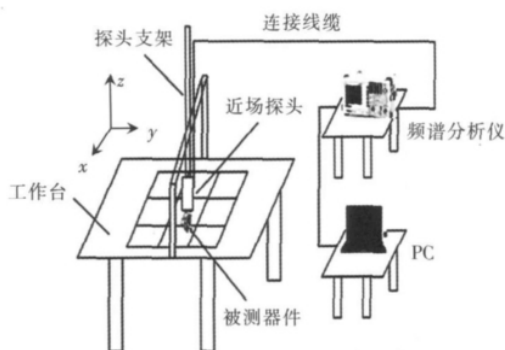


图1 辐射干扰测试系统  
Fig.1 Radiated EMI test system

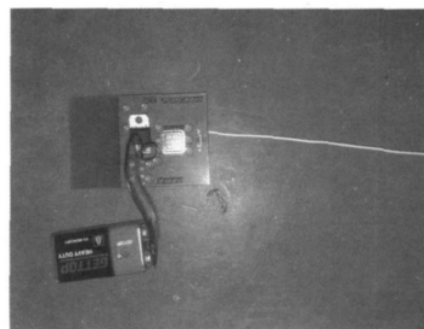


图2 辐射干扰源  
Fig.2 Radiated interference source

## 2 基于方差分析的近场测试校准研究

采用近场测试方法虽能对辐射干扰噪声进行特性预估, 但是无法实现辐射电磁干扰噪声的精确测试, 如需获得精确的辐射干扰测试, 应该采用远场测试方法, 其中暗室测试是远场测试中精度较高的方法之一, 如图4所示。

以 3 m 法暗室测试结果为标准结果, 设为:

$$y_1 = A_1(f_1), \quad (3)$$

其中  $f_1$  为测试频率 /Hz;  $y_1$  为辐射干扰幅值 /dBuV。

近场测试结果设为:

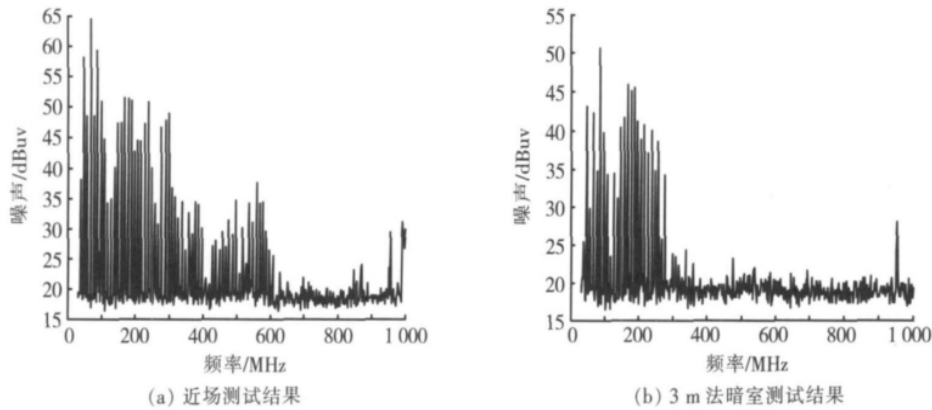


图 3 辐射干扰源的辐射噪声测试结果

Fig.3 The radiated EMI noise test result of radiated interference source

$$y_2 = A_2(f_2) \quad (4)$$

其中  $f_2$  为测试频率 /Hz;  $y_2$  为辐射干扰幅值 /dBuV.

为提高近场测试精度,采取 matlab 中的曲线拟合函数 polyfit 以标准测试结果为准对近场测试进行校准.不妨设 EMI 接收机的频率范围、频率步长选取相同,则  $f_1 = f_2$ . 对  $y_1$ 、 $y_2$  两条曲线进行拟合,则  $y_2$  可拟合为:

$$y = \sum_{i=0}^n a_i y_2^i \quad (5)$$

其中  $y_2$  为近场测试得到的辐射电场值  $y$  为其经过多项式拟合后的数据  $a_i$  为待定多项式待定系数.

对两曲线进行多项式拟合之前首先需要确定多项式阶数.拟合阶数的确定可以采取多种不同的方法,比如:极差、峭度、方差等.经过仿真验证,其中方差的拟合精度较高.通过分析每一阶拟合多项式的值与标准数据的方差,选择方差最小的那阶拟合多项式,即可对近场辐射电磁干扰测试进行校准.

### 3 实验结果与分析

采用方差分析法对图 3 近场测试结果进行拟合,经过 matlab 计算得到阶数为 20 阶时,近场测试曲线和标准曲线最为接近,其校准处理结果如图 5 所示.

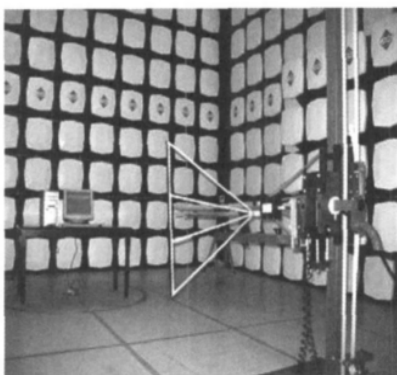


图 4 3 m 法暗室标准测试系统

Fig.4 3 m chamber standard test system

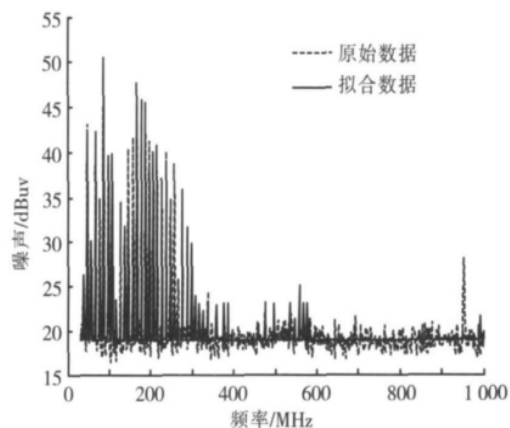


图 5 校准结果

Fig.5 Calibration result

从校准结果可以得出,采取方差法进行近场校准时,低频部分基本与标准数据相吻合,而较高频段,如 850 MHz 以上,会存在一定的误差.通过基于方差分析的多项式拟合方法,对近场测试数据进行校准,可以使近场测试结果 850 MHz 以下更接近 3 m 电波暗室的标准测试结果,实验结果验证了基于方差分析的校准方法的有效性.

## 4 总结

本文首先对辐射干扰产生的机理进行了详细的分析,设计了一种近场测试方法,并对自行设计的辐射干扰源进行了测试.为了对该近场测试结果进行校准分析,提出了一种基于方差分析的多项式拟合校准算法.此校准算法以3 m法暗室标准测试结果为准,并通过实验验证了本文所提出的校准算法的有效性.

### [参考文献](References)

- [1] 马伟明, 孟进. 独立电力系统及其电力电子装置的电磁兼容[M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
Ma Weiming, Meng Jin. Independent Power Systems and Power Electronics Electromagnetic Compatibility [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [2] 冯利民, 钱照明. 基于近场探头的电力电子系统 EMC 故障诊断[J]. 电力电子技术, 2007, 41(6): 13-16.  
Feng Limin, Qian Zhaoming. EMC trouble diagnosing techniques in power electronic system based on near field probes [J]. Power Electronics, 2007, 41(6): 13-16. (in Chinese)
- [3] 封志明, 赵波. 近场辐射电磁干扰模式测试系统设计[J]. 安全与电磁兼容, 2010(3): 18-21.  
Feng Zhiming, Zhao Bo. Radiated EMI mode diagnosis and experimental system design based on near-field measurement [J]. Safety and EMC, 2010(3): 18-21. (in Chinese)
- [4] 赵阳, 罗永超, 颜伟, 等. 高频电路辐射干扰快速分析与预估方法[J]. 电波科学学报, 2010, 25(3): 465-471.  
Zhao Yang, Luo Yongchao, Yan Wei, et al. Fast analysis and estimation approach applied in radiated EMI for high-frequency [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(3): 465-471. (in Chinese)
- [5] 赵阳, 颜伟, 赵波, 等. 电路辐射电磁干扰机理快速诊断与特性估计研究[J]. 电工技术学报, 2010, 25(10): 6-13.  
Zhao Yang, Yan Wei, Zhao Bo, et al. EMI radiated noise diagnosis and estimation for HF circuits [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(10): 6-13. (in Chinese)
- [6] Hernando M, Fernandez A, Arias M, et al. Radiated noise measurement system to estimate the EMI regulations compliance of a power electronic circuit [C]// 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2007, Proceedings, Caixanovilla-Vigo, Spain: 2007.
- [7] Hernando, Marta María, Fernández Arturo, et al. EMI radiated noise measurement system using the source reconstruction technique [C]// IEEE Transactions on Industrial Electronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, United States: 2008.
- [8] Zhao Yang, Yan Wei, Luo Yongchao, et al. A fast mechanism identification approach for radiated EMI using near field measurement [C]// Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, APEMC 2010, Beijing: 2010.

[责任编辑: 刘 健]