

辐射电磁干扰噪声预估方法校准研究

张宇环¹ 赵 阳¹ 刘 勇¹ 孙红艳² 郭青龙¹ 何 伟²

(1. 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

(2. 南京师范大学 泰州学院, 江苏 泰州 225300)

[摘要] 针对电压驱动模型预估 PCB 辐射电磁干扰噪声方法精度低的问题, 采用方差校准方法, 分析各频率点误差与均值之间的偏离程度, 进行数据补偿, 并给出了相应的理论分析与实验数据. 结果表明: 方差校准法能够有效弥补电压驱动模型预估方法精度差的问题, 为进一步改进辐射电磁干扰预估方法提供了借鉴.

[关键词] 电磁干扰, 电压驱动模型, 校准方法

[中图分类号] TM15 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2012) 03-0023-04

Prediction Research on Radiated Electromagnetic Interference Noise Using Calibration Method

Zhang Yuhuan¹ Zhao Yang¹ Liu Yong¹ Sun Hongyan² Guo Qinglong¹ He Wei²

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

(2. Taizhou College of Nanjing Normal University, Taizhou 225300, China)

Abstract: According to the low accuracy of voltage driven radiation algorithm result, variance calibration method was used to analyze the errors between the average value and voltage driven radiation algorithm result, then give the data compensation. This paper gives the corresponding theoretical analysis and the experimental data. The results show that the variance of calibration method can effectively compensate the low accuracy of voltage driven radiation algorithm result and provide the effective reference for the later high frequency radiated interference's estimation and the diagnosis work.

Key words: Electromagnetic Interference (EMI), voltage driven model, calibration method

目前辐射电磁干扰噪声测试方法主要是开阔场测试与电波暗室测试, 开阔场测试方法对环境要求极高, 很难实现. 因此, 几乎所有的辐射电磁干扰噪声测试都采用电波暗室测试方法, 电波暗室测试方法能够有效地判断设备辐射是否超标, 但无法判定辐射产生机理, 而且电波暗室造价高, 一般企业无法承受, 通常都采用近场测试方法预估辐射噪声, 国内外学者都进行了相关研究^[1-6].

本文研究了近场测试方法中电压驱动辐射模型的预估方法^[7, 8], 并对预估结果进行校准, 提高了电压驱动辐射模型预估精度, 从而为近场辐射 EMI 预估提供了借鉴.

1 电压驱动模型

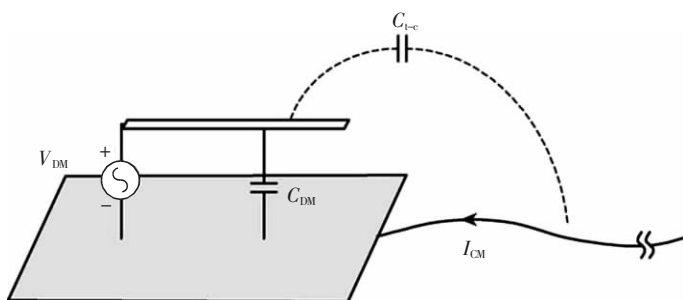
根据 Hubing 所提出的电压型驱动电路, 由一个频率为 10 MHz 的晶振、50 Ω 电阻以及一根长度为 20 cm 的连接线缆组成的 PCB, 该电路产生辐射的原因是由于辐射线缆与信号线之间的耦合电容使辐射线缆中产生共模电流而引起辐射电场, 因此 CM 电流值与信号电压成正比而与信号电流无关. 辐射模型以及 PCB 如图 1 所示.

图中, V_{DM} 为 PCB 电压信号(差模信号); C_{DM} 为 PCB 分布电容; C_{l-c} 为辐射线缆与 PCB 间的分布电容; I_{CM} 为辐射线缆共模电流. 对于上述辐射模型, 可认为是辐射线缆本身与辐射线缆中的共模电流引起的辐

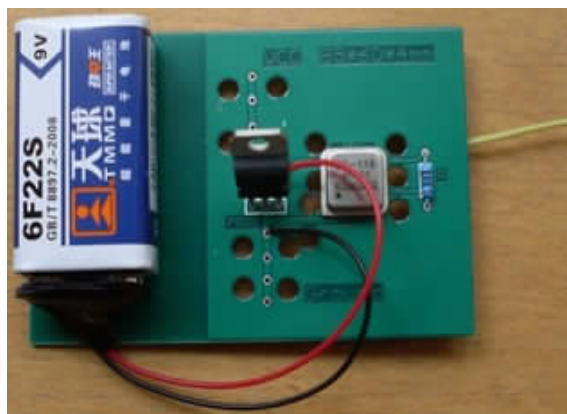
收稿日期: 2012-06-17.

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2011789)、江苏省高校科研成果产业化推进项目(JHB2011-20)、江苏省普通高校毕业生科研创新计划项目(CXLX12_0411).

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



(a) 电压驱动辐射模型



(b) PCB 图

图 1 电压驱动型电路

Fig.1 Voltage-driven circuit

射电磁干扰噪声。此外,由于辐射线缆中的共模电流与 PCB 电压信号 V_{DM} 、PCB 分布电容 C_{DM} 、辐射线缆与 PCB 间的分布电容 C_{t-c} 、辐射线缆输入电容 C_{in} 、辐射线缆长度 l 、辐射线缆共模电流分布和辐射线缆阻抗 Z 有关,同时,仅考虑电小尺寸模型,根据辐射电磁干扰噪声(辐射电磁场) E 与辐射线缆共模电流 I 之间的关系可建立辐射电磁干扰噪声与 PCB 电路参数间的关系:

$$P_{rad} = \oint \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\eta_0} ds = \frac{4\pi r^2 |E|^2}{2\eta_0} \equiv \frac{1}{2} I_{CM}^2 R_{rad}, \quad (1)$$

式中 P_{rad} 为辐射功率; E 为辐射电磁场场强; η_0 为自由空间波阻抗 ($120\pi \Omega$); R_{rad} 为辐射线缆共模阻抗; r 为测试距离; I_{CM} 为辐射线缆共模电流。若考虑偶极子天线模型,其辐射线缆共模阻抗可认为是 100Ω ,则由此产生的最大辐射电磁场场强为:

$$|E| \approx \sqrt{30 R_{rad}} \frac{I_{CM}}{r} \approx \frac{I_{CM}}{r}, \quad (2)$$

其中 $R_{rad} \approx 100.83 \Omega$,通常辐射电磁干扰噪声测试是在半波暗室中进行,因此综合考虑地面反射问题,上述计算需乘以 2 作为补偿。

在半波暗室中,估算的场要乘以 2 以补偿最坏情况下地面的反射。PCB 板和线缆之间的 CM 电流可以用等效 CM 电压来表示,最大辐射场为:

$$|E|_{max} \approx \frac{2V_{CM}}{r} \sqrt{\frac{30}{R_{rad}}} \approx 1.1 \frac{V_{CM}}{r}, \quad (3)$$

式中 V_{CM} 为共模电压信号。如图 1 所示,共模电压信号与 PCB 电压信号之间的关系为:

$$V_{CM} = \frac{C_{t-c}}{C_{in}} V_{DM}, \quad (4)$$

式中 C_{t-c} 为辐射线缆与 PCB 间的分布电容; C_{in} 为辐射线缆输入电容。

据此,仅需测量 PCB 电路板中的电路参数,即可预估辐射电磁干扰噪声大小,从而实现辐射目标重构。

为了验证电压驱动模型的精度,设计了 PCB 电路,以 10 MHz 晶振作为电压信号 V_{DM} ,回路电阻为 50Ω ,辐射线缆长度分别为 1 cm。采用江苏省计量科学研究所的美国 ETS-Lindgren 公司的标准 3 m 法电波暗室作为辐射电磁干扰噪声标准测试环境及德国罗德施瓦茨 (R&S) 公司电磁干扰接收机 ESU26,测试结果如图 2(a) 所示。采用台湾固纬 GSP-827 频谱仪作为近场信号接收设备,最高测量频率可达 2.7 GHz,同时采用安捷伦 (Agilent) 公司的射频电压探头 85 024 A,其有效带宽为 300 KHz 至 3 GHz 测量上述两个 PCB 电路中的电压信号,测试结果如图 2(b) 所示。

如图 2 所示,对于验证电路而言,采用 3 m 法电波暗室的标准测试结果与采用 Todd Hubing 电压驱动模型的预估计结果有较大差异,因此上述模型有待进一步修正完善。

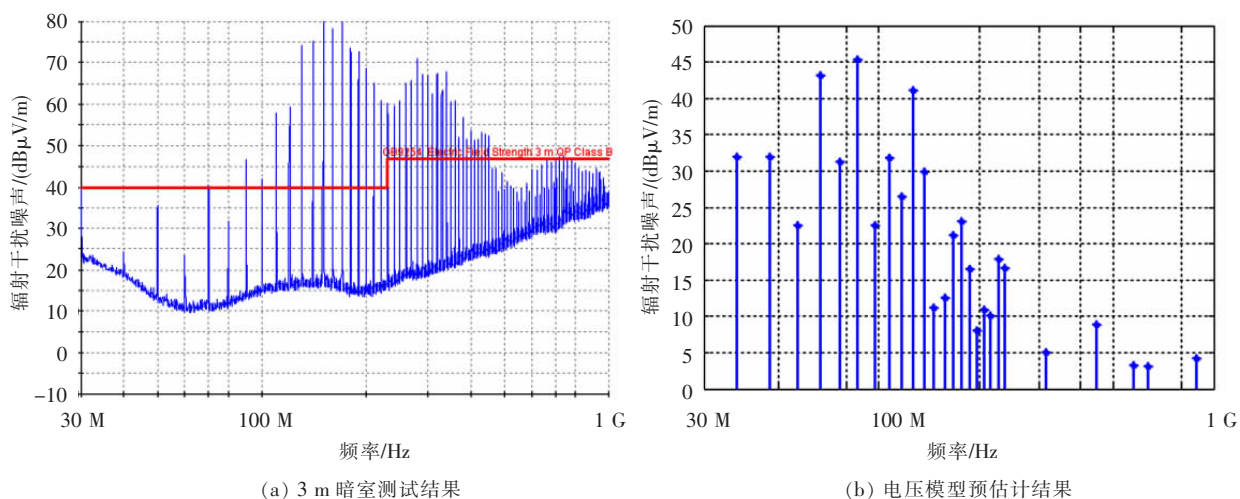


图2 辐射EMI测试结果

Fig.2 RE test result

2 校准方法

采用 Hubbing 电压驱动模型分析电路辐射,虽能够得到辐射发射趋势,但误差较大. 需要对该模型的误差进行补偿,常用方法主要有极差法和方差法^[20],即分析对应频点上的电压模型计算值与3 m暗室标准检测结果误差的极差和方差. 极差法只能粗略地得到电压驱动电路模型校准后的计算值与标准结果的误差分布情况,对各点误差的关注较小. 而方差则用于衡量各点误差与均值之间的偏离程度:

$$S = \frac{1}{n} [(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2], \quad (5)$$

式中 n 表示这组误差数据的数量; X_i 为电压驱动模型计算值与3 m暗室标准检测结果各频点对应的误差值; \bar{X} 为这组数据的平均值. 故采用方差法对数据进行校准. 本文通过实验验证方差校准方法的有效性,设计图1所示辐射源,并采用方差法对电压驱动模型辐射发射预估值进行校准. 结果如图3所示.

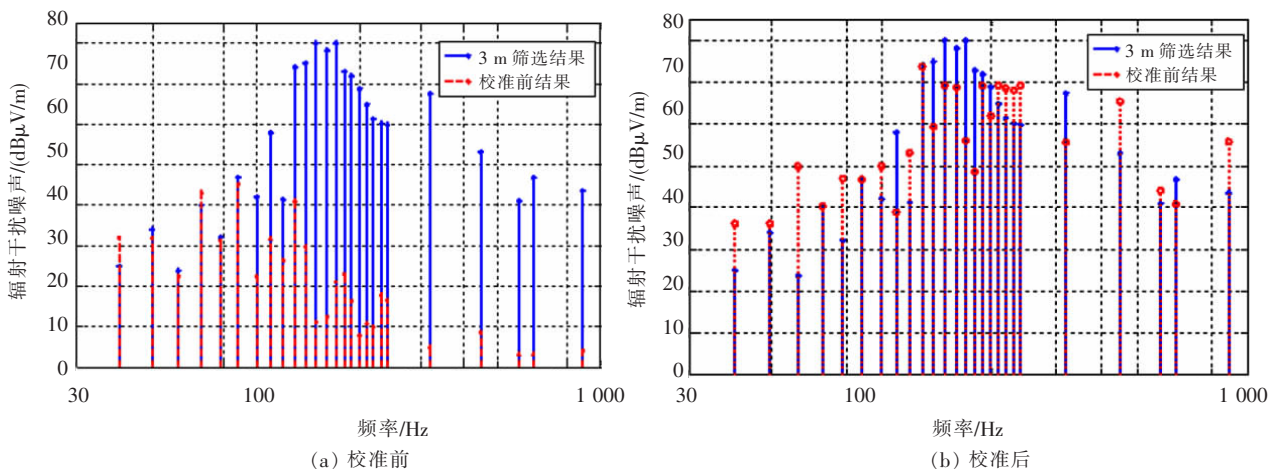


图3 校准前后结果

Fig.3 Test result before and after calibration

在100 MHz以后,方差法校准结果比校准前更加接近3 m暗室标准测试结果,证明了方差法校准的有效性;但是在30~100 MHz之间,校准后结果误差反而更大. 结果说明:方差校准法结果对改善GTEM高频衰减数据补偿具有一定的意义.

3 结论

针对电压驱动辐射模型预估结果精度较低的问题,本文研究了近场测试方法中电压驱动辐射模型的

预估方法,并对预估结果进行校准,提高了电压驱动辐射模型预估精度,从而为近场辐射 EMI 预估提供了一定的借鉴.

[参考文献](References)

- [1] Shim H, Hubing T. Model for estimating radiated emissions from a printed circuitboard with attached cables due to voltage-driven sources[J]. IEEE Trans Electromagn Compat, 2005, 47(4): 899-907.
- [2] Leone M. Design expression for the trace-to-edge common-mode inductance of a printed circuit board[J]. IEEE Trans Electromagn Compat, 2001, 43(4): 667-671.
- [3] Leferink F B J. Reduction of printed circuit board radiated emission[C] // In Proc IEEE Int Symp Electromagn Compat. Austin: 1997: 431-438.
- [4] Shim H, Fu Y, Hubing T H. Radiated emissions from populated printed circuit boards due to power bus noise[C]// In Proc IEEE Int Symp Electromagn Compat. Santa Clara, 2004: 396-400.
- [5] Shim H, Hubing T. A closed-form expression for estimating radiated emissions from the power planes in a populated printed circuit board[J]. IEEE Trans Electromagn Compat, 2006, 48(1): 74-81.
- [6] 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)
- [7] 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)
- [8] 颜伟, 赵阳, 王恩荣, 等. 射频识别系统电磁辐射干扰特征快速分析与抑制[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(9): 161-166.
Yan Wei, Zhao Yang, Wang Enrong, et al. Analysis and suppression on radiated EMI noise for radio frequency identification systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(9): 161-166. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]