

# 一种电子计量设备电磁兼容性分析与研究

邓凌翔, 封志明, 陈道升, 周 雷, 吴平宏

(江苏省计量科学研究院产品检验所, 江苏 南京 210007)

**[摘要]** 针对电子计量设备的辐射电磁干扰问题, 建立了相应的近场辐射模型和线缆辐射模型, 分析了辐射噪声生成机理。据此, 设计了相应的辐射噪声抑制措施, 包括在单片机输出引脚并联高频滤波电容以抑制共模与差模噪声, 将连接线缆改为双绞线, 串联高频电感, 并加载铁氧体磁环以抑制线缆辐射噪声。实验结果表明, 此方法可有效降低辐射干扰噪声, 并满足 GB 9254 Class B 标准。

**[关键词]** 电磁兼容, 电子计量设备, 线缆辐射, 辐射机理, 噪声抑制

**[中图分类号]** TM12 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011) 01-0005-04

## Electromagnetic Compatibility Analysis and Research of Electronic Measurement Equipment

Deng Lingxiang, Feng Zhiming, Chen Daosheng, Zhou Lei, Wu Pinghong

(Institute of Product Inspection, Jiangsu Metrology Institute of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** For the radiated EMI noise generated by electronic measurement equipment, the near-field and cable radiated models were proposed and analyzed in this paper. Therefore, radiated noise reduction method was designed. High-frequency capacitors in parallel with the PCB pins on the output of single chip microcomputer were employed to suppress CM and DM noise. While noise on cables was controlled by substituting cables into twist-pair and adding ferrite cores. The experimental results show that the suggested method can be utilized to suppress the radiated noise effectively, which can meet the standard GB 9254 Class B.

**Key words:** electromagnetic compatibility, electronic measurement equipment, cable radiation, radiated mechanism, noise suppression

由于电子计量设备的大量使用, 辐射电磁干扰(30 MHz ~ 1 GHz) 噪声问题也随之出现<sup>[1,2]</sup>。开阔场以及电波暗室等标准测量方法只能得到被测设备的远场辐射场强, 以及其是否超标, 而不能诊断其噪声机理, 因此无法针对相应的机理制订有针对性的噪声抑制方案<sup>[3,4]</sup>。故在噪声抑制方面, 目前大多采用电磁屏蔽、在电源处加装解耦电容、调整数字印刷电路板布线等方法抑制辐射干扰噪声。因此对于电子计量设备的电磁兼容研究具有一定的实际意义。

针对上述问题, 本文根据电波暗室所测辐射噪声, 对某一型号电子计量设备进行辐射噪声机理诊断与分析<sup>[5]</sup>, 并根据不同的噪声机理分别采用相应的辐射噪声抑制措施, 基于近场测试的方法对该电子计量设备进行整改<sup>[6-9]</sup>。实验结果表明, 采用文中方法对噪声进行抑制后, 其辐射水平可通过 GB 9254 Class B 标准, 从而验证了方法的有效性。

## 1 辐射 EMI 问题描述

本文采用美国 ETS-Lindgren 公司的 3 m 电波暗室(14 kHz ~ 8 GHz) 对某型电子计量设备进行测试, 结果如图 1 所示。

收稿日期: 2010-12-13.

基金项目: 国家质检总局立项项目(20070K121)。

通讯联系人: 邓凌翔, 工程师, 研究方向: 电力电子电磁兼容. E-mail: marmot23@163.com

## 2 辐射电磁干扰机理诊断

电子计量设备的辐射干扰主要有两部分组成,一是由 PCB 引起的,包括共模辐射和差模辐射;二是由线缆引起的,因此分别对这两种电磁干扰模型进行分析.

### 2.1 共模/差模辐射模型

共模辐射是由于接地非良好或接地点地电位的反射电压引起的等效短直天线辐射效应;差模辐射是由于大信号环路未有效控制而引起的等效电流环天线辐射效应. 由共模和差模辐射原理及天线理论,将共模和差模辐射单元分别等效为电偶极子辐射模型和磁偶极子辐射模型. 根据 Maxwell 方程及电/磁偶极子辐射理论,并取最大辐射场强方向,远场的共模(CM)、差模(DM)辐射场强可表示为:

$$E_{CM} = 1.26 \times 10^{-6} \frac{f L I_{CM}}{r}, \quad E_{DM} = 2.632 \times 10^{-14} \frac{f^2 A I_{DM}}{r}, \quad (1)$$

其中,  $I_{CM}$ 、 $I_{DM}$  分别为高频电路中的共模、差模电流;  $L$  为辐射线缆长度;  $A$  为信号电流环路面积;  $r$  为测试距离.

根据式(1),可以减小共模电流或线缆长度来抑制共模辐射噪声,而降低差模噪声则需要减小差模电流或信号电流环路面积. 因此应采用不同的噪声抑制方案来降低共模、差模辐射噪声. 由此可见能否正确地诊断辐射噪声机理对辐射噪声的有效抑制至关重要.

### 2.2 线缆辐射模型

由于存在延时和寄生参数等影响,线缆中信号的上升沿并非理想方波. 假设线缆中电流波形为梯形波,进行傅立叶变换可得各阶谐波分量:

$$I_n = 2Id \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \frac{\sin(n\pi t_r/T)}{n\pi t_r/T}, \quad (2)$$

其中,  $I$  为电流基频幅值;  $d$  为波形占空比;  $t_r$  为上升沿时间;  $T$  为周期,  $n$  为谐波阶数.

线缆噪声分为火线与地线、中线与地线间的共模噪声,以及火线与中线间的差模噪声. 由于电路中的差模电流一般为小信号电流,并且因为双绞线的设计或信号线与接地线间的平行走线布局等因素使差模电流产生的辐射场可以相互抵消,因此线缆中的辐射干扰噪声主要为共模电流所产生的共模辐射场,辐射噪声与线缆共模电流之间的关系为:

$$E_\theta \approx j \frac{IZ_0 \beta_0 L \sin \theta}{4\pi r} e^{-j\beta_0 r}, \quad (3)$$

其中,  $Z_0$  为自由空间波阻抗;  $I$  为线缆共模电流.

由式(3)可知,通过测量线缆共模电流即可估计辐射场特性,从而为抑制线缆上的噪声提供理论依据.

## 3 辐射噪声抑制

实验中频谱分析仪采用固纬 INSTEK GSP-827,测量频率可达 2.7 GHz,高频电流探头采用 A. H. System 的 BCP-512 宽带电流探头,测量频率可达 1 GHz,测试探头采用罗德施瓦茨 ROHDE&SCHWARZ HZ-11 磁场探头和电场探头,测量频率可达 2.7 GHz,满足辐射场频率范围,测试系统如图 2 所示.

分别采用近场测试方法和电波暗室测试方法对被测电路进行测试并加以对比分析. 为了有效抑制电

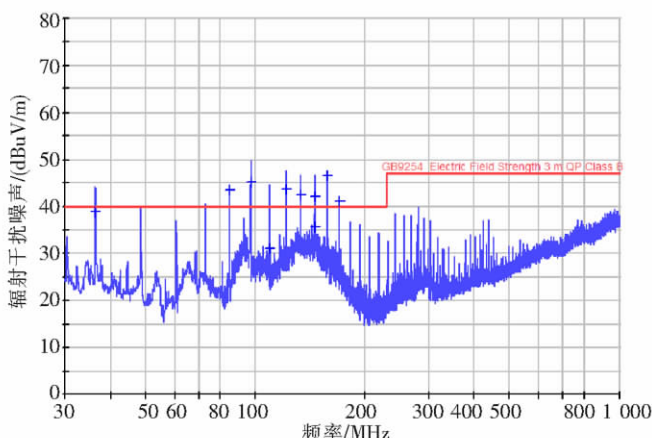


图 1 标准 3 m 暗室中辐射 EMI 测试结果

Fig.1 The radiated EMI noises by 3 m chamber standard measurement

子秤的辐射电磁干扰噪声,根据辐射电磁干扰噪声产生机理,分别设计了不同的噪声抑制方法.实验过程中发现,对于该电子计量设备 PCB 共模和差模辐射,电容值大于 100 pF 影响电子秤显示系统,所以选择了 68 pF 和 22 pF 电容并联在 PCB 上单片机输出引脚进行滤波.实验结果如图 3 所示:加电容滤波后噪声大大降低,最多减小了 18 dB.

为了抑制线缆辐射,将线缆绕成双绞线并加了铁氧体磁芯材料( Ferrite Core) .由图 4 可知, Ferrite Core 加载前后线缆噪声电流明显降低,降幅可达 5 dB.

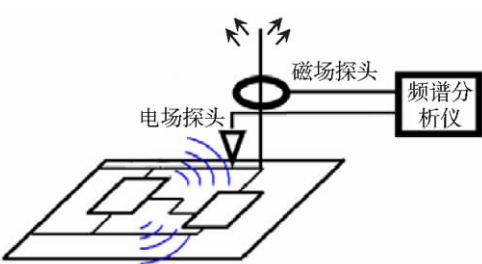


图 2 试验系统

Fig.2 Test system

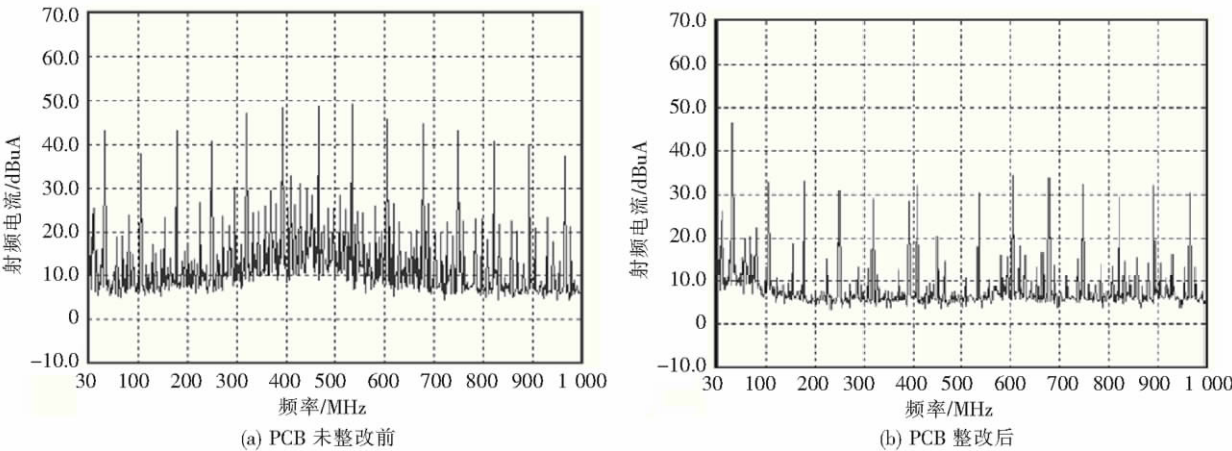


图 3 PCB 整改前后噪声对比

Fig.3 Noise comparison before and after PCB correction

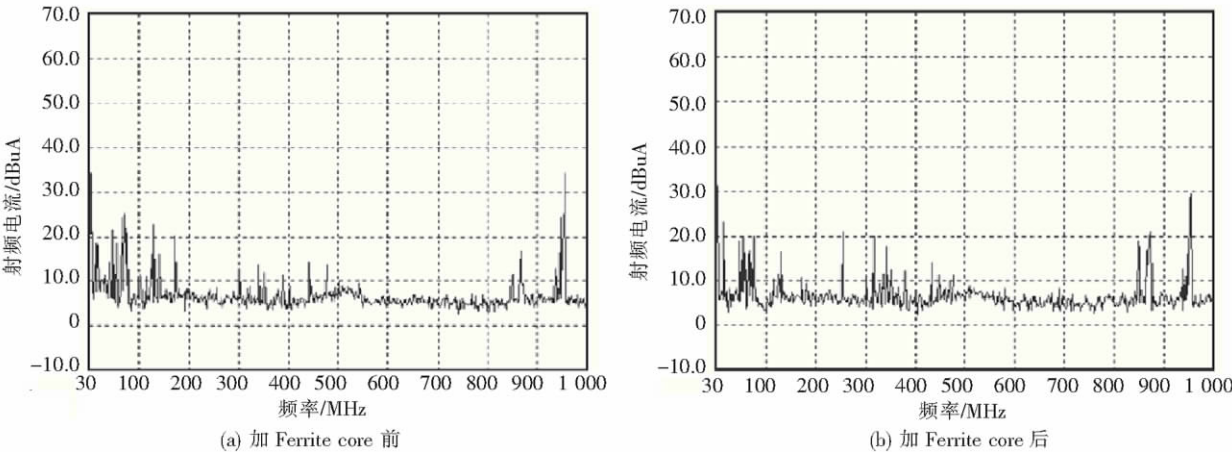


图 4 加 Ferrite Core 前后的噪声对比

Fig.4 Noise comparison before and after adding ferrite core

为了验证实验方法的正确性,采用了电波暗室测试方法对整改后的被测设备进行测试.电波暗室测试结果如图 5 所示,噪声抑制效果明显,有效地验证了整改措施及辐射噪声抑制方法的正确性.

4 结论

本文介绍了某一型号电子计量设备的辐射电磁干扰噪声产生机理分析及其抑制方法,并通过实验验证了该辐射电磁干扰噪声抑制方法,较好地解决了这一电子计量设备的电磁兼容问题,为今后进一步研究提供了一定的参考价值.

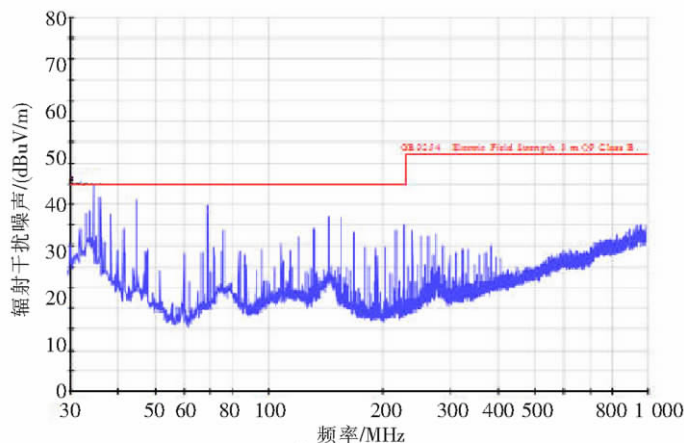


图 5 整改后标准测量结果

Fig.5 Standard measurement results after rectification

## [参考文献](References)

- [1] 冯利民,钱照明. 数字电路 PCB 板辐射 EMI 的研究[J]. 电力电子技术,2007,41(12): 2-4,7.  
Feng Limin, Qian Zhaoming. Research on the near field radiation interference of the digital circuits [J]. Power Electronics, 2007,41(12): 2-4,7. (in Chinese)
- [2] 和军平,陈为,姜建国. 开关电源共模传导干扰模型的研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(8): 50-55  
He Junping, Chen Wei, Jiang Jianguo. Model and analysis on common-mode conducted EMI of a switched mode power supply [J]. Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 2005,25(8): 50-55. (in Chinese)
- [3] Pocai M, Dotto I, Festa D, et al. Improving the performances of a reverberation chamber: a real case [C] //Electromagnetic Compatibility. 20th International Zurich Symposium. Zurich: Switzerland, 2009: 53-56.
- [4] Yoshioka T, Nakatani T, Miyoshi M. Integrated speech enhancement method using noise suppression and dereverberation [J]. IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, 2009, 17(2): 231-246.
- [5] Zhao Yang, See K Y. Fundamental of Electromagnetic Compatibility and Application [M]. China: China Machine Press, 2007: 31-32, 86-91.
- [6] 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): 6-12.  
Zhao Yang, Yan Wei, Zhao Bo, et al. EMI Radiated noise diagnosis and estimation for HF circuit [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(10): 6-12. (in Chinese)
- [7] 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): 466-471.  
Zhao Yang, Luo Yongchao, Yan Wei, et al. Fast analysis and estimation approach applied in radiated EMI for high frequency circuit [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(3): 466-471. (in Chinese)
- [8] Urabe J, Fuji K, Dowaki Y, et al. A method for measuring the characteristics of an EMI suppression ferrite core [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2006, 48(4): 774-780.
- [9] 孙宏亮,文芳. 加载铁氧体磁环对同轴电缆耦合脉冲干扰的影响[J]. 电工技术学报,2009,24(7): 7-10.  
Sun Hongliang, Wen Fang. Ferrite core attaching effect on pulse interference coupled in coaxial cable [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7): 7-10. (in Chinese)

[责任编辑:刘 健]