

# 新型传导 EMI 滤波器的设计研究

刘 勇 赵 阳 肖家旺 张宇环 郭青龙

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 主要对受空间电磁场影响的新型传导干扰的抑制进行了研究, 具体分析了普通滤波器和传导 EMI 滤波器的区别. 在分析典型滤波器的基础上, 提出了新型传导 EMI 滤波器, 分析研究了它的结构和抑制原理, 该滤波器能够较好地抑制新型传导干扰噪声. 针对某型刷卡机的新型传导干扰问题, 分别采用两种原理的 EMI 滤波器对其进行了抑制试验, 试验结果较好地验证了新型 EMI 滤波器对新型传导干扰噪声抑制的有效性.

**[关键词]** 空间电磁场, 传导干扰噪声, EMI 滤波器, 抑制, 新型传导干扰

**[中图分类号]** TN713 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011)04-0012-04

## The Research on the Design of the New Conducted EMI Filter

Liu Yong, Zhao Yang, Xiao Jiawang, Zhang Yuhuan, Guo Qinglong

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

**Abstract:** The suppression of the new conducted EMI noise which is affected by electromagnetic field is studied in this paper. The difference of normal filters and EMI filters is analyzed specifically, and on the basis of analysis of the typical filter, the new model of conducted EMI filter is proposed, of which the structure and suppression principle are analyzed, and this filter can suppress the new conducted EMI noise. In the end, as for the new conducted noise of a certain type of credit card machines, both of the two kinds of EMI filters are applied to suppress its conducted noise. The result of experiments shows that the new model EMI filter proposed in this paper can well suppress the new conducted EMI noise.

**Key words:** spatial electromagnetic field, conducted EMI noise, EMI filters, suppression, the new conducted EMI noise

随着电磁兼容 EMC (Electromagnetic Compatibility) 技术的发展进步, 传导电磁干扰噪声 (Conductive EMI Noise) 的抑制技术及其抑制措施越来越成熟<sup>[1]</sup>, 并在电力电子设备领域内得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>. 然而, 目前的噪声抑制方法主要是针对电源传输线缆上的噪声进行抑制<sup>[3]</sup>, 而对于空间辐射电磁中的电源线缆传导噪声方面的研究甚少<sup>[4]</sup>.

本文在典型电源 EMI 滤波器设计原理的应用基础上<sup>[5]</sup>, 针对以上问题进行分析研究, 提出了用于解决其相应传导干扰噪声抑制的新型传导 EMI 滤波器的设计方法, 并详细研究了该新型传导 EMI 滤波器的结构及其原理. 针对某型食堂刷卡机的传导电磁干扰噪声问题, 采用新型传导 EMI 滤波器的设计方法设计了相应的 EMI 滤波器, 实验对比结果验证了新型传导 EMI 滤波器的有效性, 能够较好地抑制非一般传导干扰噪声.

## 1 典型传导 EMI 滤波器的设计原理

传导 EMI 滤波器即为保证有用频段的信号无衰减地传输, 而阻止无用频段信号的传输, 但是完全衰减无用信号是不可能实现的, 只能增加其衰减量, 从而保护设备尽可能少地受到外界噪声干扰; 同时, 传导 EMI 滤波器还能够抑制其自身产生的 EMI 信号, 防止其输入电源, 从而避免其对外产生电磁污染, 危害其他设备的正常工作.

收稿日期: 2011-09-21.

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).

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

电磁兼容领域所采用的传导 EMI 滤波器与一般用途的低通、带通、高通滤波器具有很大的区别:首先两者所关注的滤波器指标特性不同,普通滤波器侧重滤波器自身的幅频特性、相位特性和波形畸变等特性,而传导 EMI 滤波器则更加侧重其插入损耗和能量损耗等特性;其次,两者的使用环境差异较大,普通滤波器的工作电压低、电流小、源端和负载端电路特性较为单一,而传导 EMI 滤波器要求其能够承受较高电压、大电流,且能够承受瞬时大电流的冲击,并且其源端特性和负载特性因工作环境的变化而异。故传导 EMI 滤波器不能够按照普通滤波器的设计方法设计。

由于电力电子设备的地线呈现高频阻抗特性,因此对于其产生的传导电磁干扰噪声,必须考虑地线噪声的传输和抑制,即设计 EMI 滤波器时须同时考虑每一条传输线上干扰噪声的抑制,这样不仅能够较好地抑制差模噪声,同时也可以对共模噪声起到较好的抑制作用,因此共模扼流圈常被运用于 EMI 滤波器中,其结构如图 1 所示。共模扼流圈具有两个功能:① 较好抑制两线之间的共模干扰;② 虽然不能抑制两线之间的差模干扰,但是能够对单线上的干扰噪声起到一定的抑制作用。共模扼流圈的双绕组中信号电流或电源电流的流向相同,产生同向叠加的磁通量,因而扼流圈呈高阻抗,从而能够很好地抑制共模干扰噪声。

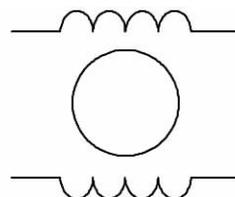


图 1 共模扼流圈结构简图

Fig.1 The sketch of common mode chokes

EMI 滤波器的设计过程主要分为 5 个步骤:① 确定共模、差模干扰源阻抗;② 确定负载阻抗;③ 计算共模、差模干扰的衰减量;④ 确定差模、共模滤波器的转折频率及其元件参数;⑤ 实验验证,以验证所设计滤波器的抑制效果。

滤波器的滤波功能只是通过对无用信号的衰减程度来衡量,而此衡量标准又被称为插入损耗 IL (Insertion loss)。如图 2 所示,在滤波器未接入时,从噪声源传输到负载的功率为  $P_1$ ,接入滤波器之后,噪声源传输到负载的功率为  $P_2$ , $P_1$  与  $P_2$  之比即为插入损耗,单位为 dB。滤波器的插入损耗越大,表面滤波器的抑制性能越好。其中,  $IL = 10\lg(P_1/P_2)$ ,  $P_1 = V_1^2/R_L$ ,  $P_2 = V_2^2/R_L$ 。

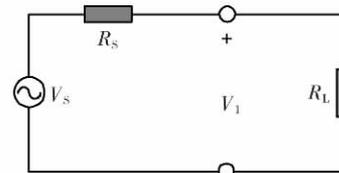
如图 3 所示为常用典型传导 EMI 滤波器设计所采用的结构,根据噪声机理不同以及预期抑制效果等不同的要求,可以通过改其电路结构以及元器件类型、参数等,根据实际案例快速决定滤波器的结构参数。

## 2 新型传导 EMI 滤波器的结构及其抑制原理

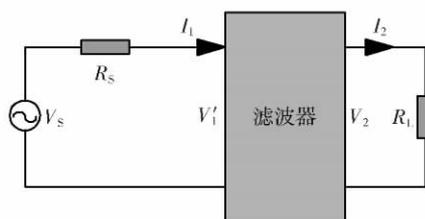
处于空间辐射场中的电源线缆极易受到辐射电磁场的干扰。在空间辐射电磁场中,电源线缆由于空间电磁场的耦合而产生耦合电压或者耦合电流,而耦合产生的电压或电流信号对于设备而言是无用信号,但是却会对设备的正常工作产生很大的干扰,严重时会导致设备的工作异常<sup>[6]</sup>。

以传输线理论为基础,根据不同的激励形式,3 种理论模型常被用来分析场线耦合问题<sup>[7]</sup>。① 由垂直传输线方向的入射电场垂直分量和沿传输线方向的入射磁场切向分量为激励函数,得出传输线上分布电压源和分布电流源而构成的空间电磁场对传输线的耦合方程;② 利用传输线方向的入射电场切向分量为激励函数,推导出传输线上形成的分布电压,从而构成的空间电磁场对传输线的耦合方程;③ 以传输线上的入射磁场为激励函数,推导出传输线上的分布电压,而构成空间场对传输线的耦合方程。

本文针对两线电源所提出的新型传导 EMI 滤波器的设计结构如图 4 所示,它的结构与典型 EMI 滤波



(a) 接入滤波器前



(b) 接入滤波器后

图 2 滤波器插入损耗计算原理图

Fig.2 The calculation schematic of filter insertion loss

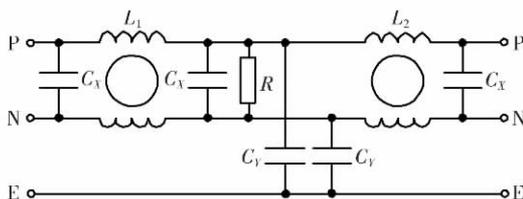


图 3 传导 EMI 滤波器典型结构

Fig.3 The structure of typical conducted EMI filter

器无本质区别,由两个扼流圈和一点电容组成,但是其中最为关键之处为扼流圈的使用方法与常用共模扼流圈的使用方法有本质区分。

如图 5 所示,典型共模扼流圈采用的是双线同向并列绕制,即同进同出且两线并列不交错,使用时  $a_0$ 、 $b_0$  接电源输入端,而  $a_1$ 、 $b_1$  接设备端。在新型传导 EMI 滤波器设计的应用中,扼流圈的绕制方法与典型绕制方法相同,但是使用方法和典型扼流圈截然相反,即采用  $a_0$ 、 $b_1$  作为输入端使用,而  $b_0$ 、 $a_1$  作为输出端使用。另外,其中的电容用以抑制电源线上信号传输产生的差模噪声。

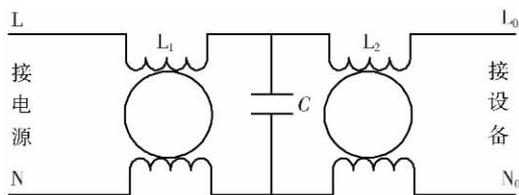


图 4 新型传导 EMI 滤波器结构

Fig.4 The structure of new conducted EMI filter

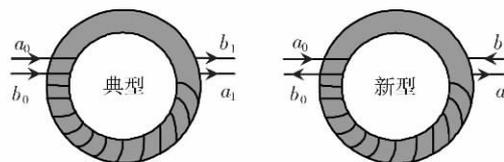


图 5 典型和新型扼流圈

Fig.5 The typical and new chokes

当电源线滤波器置于辐射电磁场的空间内,将会因为场线耦合而在线上产生干扰噪声,由于新型传导 EMI 滤波器中的扼流圈采用同向绕制异向传输,故当其处于空间电磁场中时,根据麦克斯韦电磁场理论<sup>[8]</sup>,电磁场在扼流圈内产生的磁通量大小相同,方向相反,从而较大地减弱线上耦合形成的传导干扰噪声信号。因此,该新型传导 EMI 滤波器能够较好地抑制处于空间场干扰下的电源线传导电磁干扰噪声。

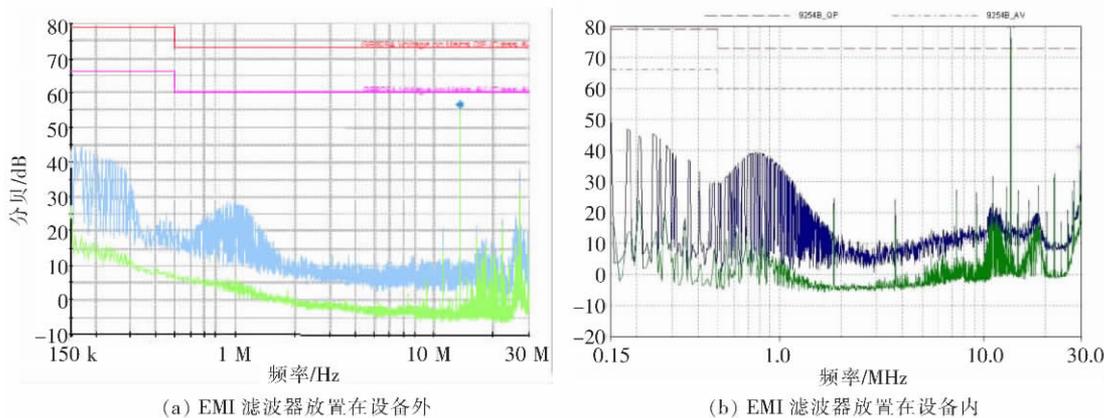
### 3 实验对比分析

针对如图 6 所示的某型食堂刷卡机的传导超标案例,由于该款设备的模具已确定且不可更改,而所采用的电源滤波器恰好只能放置于刷卡感应模块下,因而其较为容易受到刷卡所需辐射场的干扰。采用典型 EMI 滤波器方案时,当 EMI 滤波器被放置于设备外,且远离刷卡模块时,传导干扰噪声测试结果如图 7(a) 所示,传导干扰噪声实验结果均位于标准限制以下,此方法虽能较好抑制传导干扰噪声,但是无法被应用到设备的实际生产中;而当相同的滤波器被置于设备内部时,即离刷卡模块较近,其测试结果如图 7(b) 所示,与 7(a) 中的结果差别很大,传导干扰噪声没有得到有效抑制,反而增大。



图 6 某型刷卡机

Fig.6 A certain type of credit card machines



(a) EMI 滤波器放置在设备外

(b) EMI 滤波器放置在设备内

图 7 采用传统 EMI 滤波器的抑制效果

Fig.7 The suppression result by using typical EMI filter

根据分析可得,滤波器的抑制效果在很大程度上受到了刷卡空间电磁场的影响,使得传导干扰噪声变得更差,故传统 EMI 滤波器不再适用于该种传导干扰噪声的抑制。根据新型传导 EMI 滤波器的原理设计了如图 4 所示结构的传导 EMI 滤波器,并根据计算确定了相应的元器件参数,将其应用于以上的刷卡机,

并放置于设备内部的刷卡模块下,按照传导标准测试方法对其传导干扰噪声进行了测试,测试结果如图 8 所示,测试结果表明该新型传导 EMI 滤波器的抑制效果良好,很好地解决了该设备的传导超标问题,并且能够被广泛推广应用于其他相似情况的传导干扰问题的解决。

#### 4 总结

本文主要针对传导电磁干扰噪声的抑制方法措施进行了研究,针对典型 EMI 滤波器无法解决的新型传导干扰问题,即处于空间辐射场中的电源线缆传导噪声问题,提出了新型传导 EMI 滤波器的设计方法及其结构;最后,针对某型食堂刷卡机的新型传导干扰问题,采用典型和新型 EMI 滤波器分别进行了对比实验,实验对比结果较好地验证了新型传导 EMI 滤波器在新型传导干扰噪声抑制方面的有效性。本文研究内容对于受空间场影响的新型传导干扰噪声抑制技术研究具有较大的参考价值。

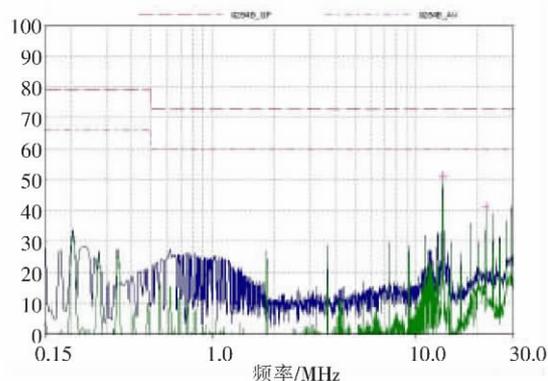


图 8 采用新型 EMI 滤波器后的抑制结果

Fig.8 The suppression result of the new model EMI filter

#### [参考文献](References)

- [1] 赵阳,尹海平,李世锦,等. 传导性电磁兼容关键技术研究[J]. 南京师范大学学报:工程技术版 2007,7(4):1-7.  
Zhao Yang, Yin Haiping, Li Shijing, et al. Study of key techniques in conducted EMC[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition 2007,7(4):1-7. (in Chinese)
- [2] 赵阳,罗永超,陆斌泉,等. 传导电磁干扰噪声综合解决方案[J]. 江苏大学学报:自然科学版 2010,31(2):189-195.  
Zhao Yang, Luo Yongchao, Lu Xiaoquan, et al. Synthetic solution scheme for conductive EMI noise[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition 2010,31(2):189-195. (in Chinese)
- [3] 张娜,张团善,武玉婷. EMI 电源滤波器的原理与分析[J]. 变频器世界 2010(12):118-110.  
Zhang Na, Zhang Tuanshan, Wu Yuting. Principle and analysis of EMI source filter[J]. The World of Inverters 2010(12):118-110. (in Chinese)
- [4] 许小林. 辐射电磁环境干扰研究[J]. 飞机设计 2004(4):65-67.  
Xu Xiaolin. A study of electromagnetic interference[J]. Aircraft Design 2004(4):65-67. (in Chinese)
- [5] 郭攀锋,谭国俊,赵艳萍,等. 开关电源传导 EMI 抑制技术探讨[J]. 微波学报 2010(S2):73-75.  
Guo Panfeng, Tan Guojun, Zhao Yanping, et al. Discussing conductive EMI suppression technology for switching power supply[J]. Journal of Microwaves 2010(S2):73-75. (in Chinese)
- [6] 何洪涛,王向阳,樊友谊,等. 空间电磁场对被复线有线通信干扰问题分析[J]. 电子测量技术 2010,33(8):106-109.  
He Hongtao, Wang Xiangyang, Fan Youyi, et al. Analysis of external electromagnetic field coupling to coated wire in wire communication[J]. Electronic Measurement Technology 2010,33(8):106-109. (in Chinese)
- [7] 巫春林,张洪顺,胡莉琼. 空间电磁场对通信车被复线耦合干扰分析及抑制方法研究[J]. 现代电子技术 2009(7):58-61.  
Wu Chunlin, Zhang Hongshun, Hu Liqiong. Analysis of external waves coupling to field telephone lines and research on solutions to suppression[J]. Modern Electronics Technique 2009(7):58-61. (in Chinese)
- [8] 赵阳,颜伟,邱晓晖. 电力载波通讯中辐射噪声的分析与抑制[J]. 中国矿业大学学报 2011,40(1):152-156.  
Zhao Yang, Yan Wei, Qiu Xiaohui. Analysis and suppression on radiated EMI for power line communication[J]. Journal of China University of Mining and Technology 2011,40(1):152-156. (in Chinese)

[责任编辑:刘 健]