

# 电子设备电磁兼容中的 EFT 优化电感设计

邵羽达<sup>1</sup> 张宇环<sup>2</sup> 邓凌翔<sup>1</sup> 周 雷<sup>1</sup> 吴平宏<sup>1</sup>

(1. 江苏省计量科学研究院 江苏 南京 210007)

(2. 南京师范大学 电气与自动化工程学院 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 针对现有抑制电快速瞬变脉冲群(EFT)干扰的滤波器体积较大、材料耗费较多等问题,分析了铁氧体磁环的等效电路模型,结合 DOUBLET BW2105 称重控制器电快速瞬变脉冲群未能达标的问题,采用新型超微晶材料铁氧体磁环绕制电感并设计滤波器对其进行 EFT 优化。实验结果表明该方法能够有效抑制设备的电快速瞬变脉冲群,减少材料的损耗,减小滤波器体积并节省装载空间。

**[关键词]** 电快速瞬变脉冲群 称重控制器 滤波器

**[中图分类号]** TM12 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011)03-0010-03

## EFT Optimization Inductance Design of Electronic Equipment

Shao Yuda<sup>1</sup> Zhang Yuhuan<sup>2</sup> Deng Lingxiang<sup>1</sup> Zhou Lei<sup>1</sup> Wu Pinghong<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** Aiming to inhibit EFT interference measures with problems that filter bulky and cost more material, the high frequency equivalent circuit is analyzed in the paper. Combined with a weighing controller's failure to pass the standard test of Xuzhou DOUBLET industrial machinery Co., LTD., superfine crystal materials winding inductance and design filters are adopted to inhibit EFT interference. Experimental results show that by using ultra noncrystalline material made inductance and design filter can make equipment through the EFT standard testing, reduce material loss, filter volume and loading space.

**Key words:** EFT, weighing controller, filter

电快速瞬变脉冲群(EFT)试验是指一种将由许多快速瞬变脉冲组成的脉冲群耦合到电气和电子设备的电源端口、信号和控制端口的试验。由于骚扰信号不是单个脉冲,而是一连串的脉冲群具有上升时间和持续时间短、幅值和重复频率高等特点,电子设备长期以来难以克服。为了减低不必要的危害,有必要对电子设备进行 EFT 抑制。传统的 EFT 抑制方法主要是采取加载滤波器的方式<sup>[1-2]</sup>,但由于参数选择不当,往往导致滤波器体积较大且抑制效果不理想。本文主要讨论如何选取新型铁芯材料绕制电感,减小滤波器体积,并且实现滤波器拓扑结构优化设计。

### 1 电快速瞬变脉冲群机理描述

脉冲群发生器<sup>[3]</sup>的基本线路和波形如图 1 所示。经由挑选的电路元件  $C_s$ 、 $R_s$ 、 $R_m$  和  $C_d$ ,使发生器在开路 and 接 50  $\Omega$  负载的条件下产生一个快速瞬变。信号发生器的有效输出阻抗为 50  $\Omega$ 。

其中  $U$  为高压源; $R_c$  为充电电阻; $C_s$  为储能电容器; $R_s$  为脉冲持续时间形成电阻; $R_m$  为阻抗匹配电阻; $C_d$  为隔直

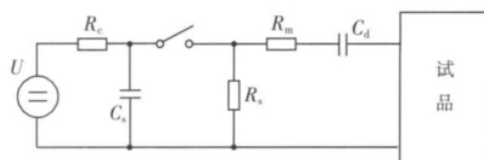


图 1 快速瞬变脉冲群发生器电路  
Fig.1 EFT generator circuit

收稿日期: 2011-06-12.

基金项目: 江苏省质检总局,江苏省地方标准资助项目.

通讯联系人: 邵羽达,工程师,研究方向: 电磁兼容. E-mail: icdrgons@sina.com

电容.

GB/T 17626. 4 - 1998 规定的 EFT 脉冲为双指数波形, 上升时间为 5 ns, 持续时间为 50 ns, 每个脉冲能量为 4 mJ, 脉冲群持续时间为 15 ms, 脉冲群周期为 300 ms, 重复频率为 2.5 kHz(对 4 kV 测试等级)或 5 kHz(对其他测试等级), 其波形如图 2、图 3 所示:

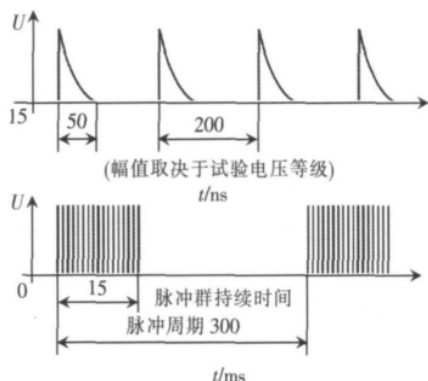


图 2 快速脉冲群波形示意图

Fig.2 Schematic diagram of EFT

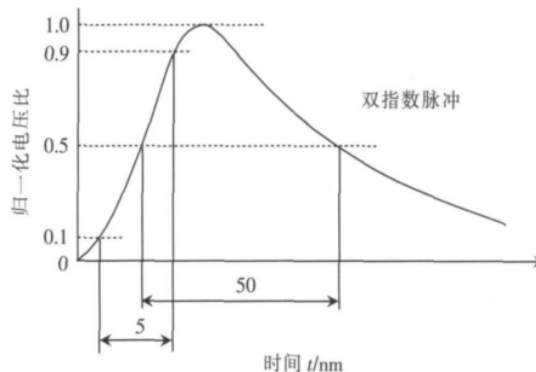


图 3 单脉冲波形图

Fig.3 Single pulse waveform

## 2 电子设备 EFT 干扰抑制研究

对于 EFT 的滤波抑制<sup>[4-7]</sup>, 往往最简单的方式是加铁氧体磁环滤波器。铁氧体一般做成中空型, 导线穿过其中。当导线中的电流穿过铁氧体时低频电流几乎无衰减地通过, 但高频电流却会受到很大的损耗, 转变成热量散发, 所以铁氧体和穿过其中的导线即成为吸收式低通滤波器, 对于 EFT 能起到一定的抑制作用。然而, 对于群脉冲的抑制, 往往单加铁氧体磁环滤波器还不够, 设计常规滤波器是抑制群脉冲最有效手段之一。滤波器常用于传导 EMI 噪声的滤除, 根据通常设计传导 EMI 滤波器的经验, 我们设计了一个常规的 EMI 滤波器。通过测试发现对于 EFT 的抑制效果不是很佳, 可见 EFT 滤波器是有别于传统 EMI 滤波器的。由于 EFT 的频带极宽, 且幅值较大, 所以对滤波器的要求也不一样。结合相关理论, 参考前人的设计, 设计出了如图 4 所示的滤波器。通过调节对应的参数, 发现电感和电容的取值影响很大。经过反复实验发现, 火线、零线的电容值取  $C_1$ 、 $C_2$  取 20 nF 左右, 火线和地线、零线和地线的值取  $C_3$ 、 $C_4$  取 5 nF 左右, 同时共模扼流圈  $N_1$ 、 $N_2$  电感取 2 mH 左右时抑制噪声信号较为理想。

由于 2 mH 电感值过大, 导致使用铁氧体磁环绕制电感时体积过大。既浪费材料, 又因为体积过大, 不便于固定安装, 且有些仪器设计体积较小, 没有足够的空间装载滤波器。鉴于此, 本文采用新型材料铁氧体磁环绕制滤波器来抑制 EFT 干扰。铁氧体是一种立方晶格结构的亚铁磁性材料。磁导率为复数, 即  $\mu = \mu' - j\mu''$ , 实部为磁能的存储(相当于电感), 虚部为磁能的损耗(相当于电阻), 在 1 GHz 以下, 随着频率的增加而增加。因此, 磁环阻抗可等效为磁芯电感  $L_F$  与磁芯损耗电阻  $R_F$  组成的串联电路, 其中:  $L_F$  与  $R_F$  都是频率的函数, 如图 4 所示, 磁环等效阻抗为:

$$Z_F(\omega) = R_F(\omega) + j\omega L_F(\omega) \quad (1)$$

在低频段, 阻抗由电感的感抗构成  $R_F(\omega)$  很小, 磁导率较高, 电感量较大  $L_F(\omega)$  起主要作用, 电磁干扰被反射而受到抑制, 且磁环的损耗较小, 磁环可认为是一个低损耗、高品质因数的电感。在高频段, 阻抗由电阻成分构成, 随着频率升高, 磁导率降低, 电感量减小。然而, 磁环的损耗增加, 电阻成分增加, 导致总的阻抗增加, 当高频信号通过铁氧体时, 电磁干扰被吸收并转换为热能耗散掉。因此, 采用磁环可以增加电

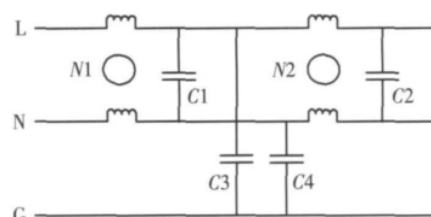


图 4 EFT 脉冲群抑制滤波器

Fig.4 EFT suppression filter

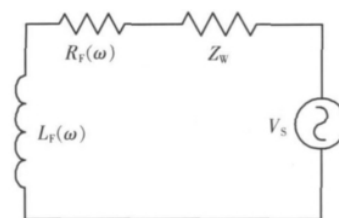


图 5 磁环等效电路模型

Fig.5 Magnetic beads equivalent circuit model

力载波通讯线缆中的高频阻抗以减小共模电流,从而抑制辐射干扰噪声.理论表明磁珠的阻抗与材料和尺寸有关:

$$K = N^2 \left( 0.417 + 3.41 L \log \frac{OD}{ID} \right), \quad (2)$$

式中:  $K$  是阻抗比例因数;  $L$  是磁珠长度;  $OD$  是磁珠外径;  $ID$  是磁珠内径;  $N$  是磁珠上导线的匝数.因此,根据式(1)、(2),磁环高频等效电路以及阻抗模型即可根据不同的辐射场特性设计有效的噪声抑制方案.

### 3 实验结果与分析

为了验证基于新型材料铁氧体磁环即高磁导率磁环设计的滤波器对于抑制 EFT 干扰的有效性,我们设计了如下实验:针对某公司的 DOUBLET BW2105 称重控制器电快速瞬变脉冲群不达标问题,进行了整改抑制.

首先,我们采用普通材料磁环绕制电感并设计滤波器,虽然能够达到设计效果,使称重控制器通过江苏省计量科学研究院的标准测试.但是由于电感值较大,导致滤波器体积过大,不便于安装,且浪费材料和空间.

根据上述理论分析,我们选取新型超微晶材料制作的铁氧体磁环绕制电感,可以在很少的绕制圈数情况下,达到足够的电感值.同时,能够通过江苏省计量科学研究院的标准测试.两种材料绕制电感、设计的滤波器如图 6、图 7 所示.

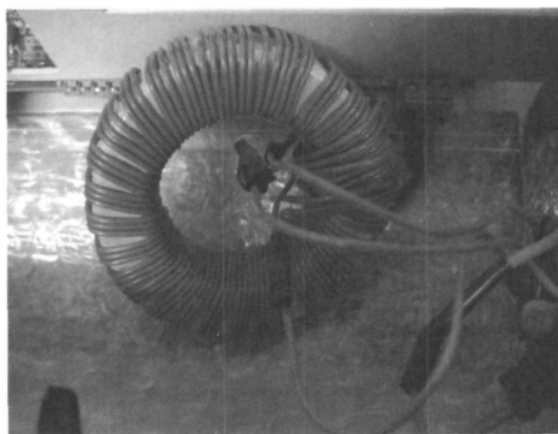


图 6 普通磁性材料绕制电感

Fig.6 Winding inductance with common materials

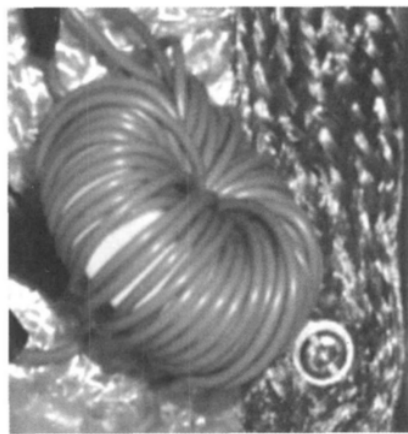


图 7 超微晶材料绕制电感

Fig.7 Winding inductance with superfine crystal materials

### 4 结论

本文利用超微晶材料铁氧体磁环设计滤波器实现了对 EFT 干扰的抑制,克服了现有滤波器体积较大以及电容、电感实际选取较难控制等问题.实验结果表明:使用超微晶材料绕制电感并设计滤波器,能够使设备通过电快速瞬变脉冲群标准检测,并且减少材料的损耗,节省空间.

#### [参考文献] (References)

- [1] 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)
- [2] Zhao Yang, SEE K Y. Fundamental of Electromagnetic Compatibility and Application [M]. Beijing: China Machine Press, 2007: 31-32, 86-91
- [3] 丁丁.电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[J].上海计量测试,2004(6):43-45.  
Ding Ding. Immunity test of electrical fast transient [J]. Shanghai Measurement and Testing, 2004(6): 43-45. (in Chinese)

(下转第 30 页)

- [64] Sener A C , Aksoy N. A general view on geothermal power economy [C]// Proceedings of the Geothermal Energy Seminar on Electricity Production from Geothermal Energy Teskon , Izmir , Turkey: 2007.
- [65] Adelina P D , Efstathios E M. Geothermal power production from abandoned oil wells [J]. Energy , 2009 , 34( 7) : 866-872.
- [66] Borsukiewicz G A , Nowak W. Maximising the working fluid flow as a way of increasing power output of geothermal power plant [J]. Applied Thermal Engineering , 2007 , 27( 11/12) : 2 074-2 078.
- [67] Ozgener L , Hepbasli A , Ibrahim D. Thermo-mechanical exergy analysis of balcova geothermal district heating system in izmir , Turkey [J]. Journal of Energy Resources Technology , 2004 , 126( 4) : 293-301.
- [68] Kanoglu M , Bolatturk A. Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy [J]. Renewable Energy , 2008 , 33( 11) : 2 366-2 374.
- [69] Ozcan N Y , Gokcen G. Thermodynamic assessment of gas removal systems for single-flash geothermal power plants [J]. Applied Thermal Engineering , 2009 , 29( 14/15) : 3 246-3 253.
- [70] Yodovard P , Khedari J , Hirunlabh J. The potential of waste heat thermoelectric power generation from diesel cycle and gas turbine cogeneration plants [J]. Energy Sources , 2001 , 23( 3) : 213-224.
- [71] Kinoshita T , Inoue T , Iwao K , et al. A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS [J]. Applied Energy , 2008 , 86( 1) : 1-8.
- [72] Kinoshita T , Ohki T , Yamagata Y. Woody biomass supply potential for thermal power plants in Japan [J]. Applied Energy , 2010 , 87( 9) : 2 923-2 927.
- [73] Lior N. Power from space [J]. Energy Conversion Management , 2001 , 42( 15/17) : 1 769-1 805.

[责任编辑: 刘 健]

(上接第12页)

- [4] 付润江, 金波, 杜勇. 电快速脉冲群干扰的频谱分析及消除方法 [J]. 长江大学学报 2005( 7) : 245-247  
Fu Runjiang , Jin Bo , Du Yong. Electrical fast burst interference and elimination of spectrum analysis [J]. Journal of Yangtze University 2005( 7) : 245-247( in Chinese)
- [5] 陈世钢. 电快速瞬变脉冲群的抑制 [J]. 电磁干扰抑制技术 , 1997( 4) : 7-13.  
Chen Shigang. Suppression of electrical fast transient [J]. Electromagnetic Interference Suppression , 1997( 4) : 7-13. ( in Chinese)
- [6] 瞿昱, 刘文彦, 邓新中. 接地干扰的形成及抑制 [J]. 煤矿机电 2003( 1) : 31-33.  
Zhai Zhao , Liu Wenyan , Deng Xinzong. The formation and suppression of ground disturbance [J]. Colliery Mechanical and Electrical Technology , 2003( 1) : 31-33. ( in Chinese)
- [7] 朱文立. 快速瞬变脉冲群测试的失败原因及对策 [J]. 安全与电磁兼容 2007( 2) : 5-10.  
Zhu Wenli. Cause analysis of EFT/B test failure and countermeasures [J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing , 2007( 2) : 5-10. ( in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]