

# 机车紧急通风电源雷击浪涌试验案例分析

窦爱玉<sup>1</sup>, 慈文彦<sup>1</sup>, 王珏<sup>1</sup>, 何君<sup>1</sup>, 刘小清<sup>2,3</sup>

(1. 南京师范大学泰州学院电力工程学院, 江苏 泰州 225300)

(2. 江苏省电气装备电磁兼容工程实验室, 江苏 南京 210042)

(3. 南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210023)

**[摘要]** 针对机车紧急通风电源雷击浪涌(Surge)抗扰度问题, 本文分析了浪涌产生和骚扰机理, 研究了处理浪涌的方法, 提出了电源线浪涌问题的解决方法。试验结果表明, 该方法可有效提高机车紧急通风电源 Surge 抗扰度等级, 以达到 GB/T 17626.5—2008 标准要求。

**[关键词]** 紧急通风电源, 雷击浪涌, 压敏电阻, 气体放电管

**[中图分类号]** TM15 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)01-0032-04

## Investigation on Locomotive Emergency Ventilation Power in Surge Testing Cases

Dou Aiyu<sup>1</sup>, Ci Wenyan<sup>1</sup>, Wang Jue<sup>1</sup>, He Jun<sup>1</sup>, Liu Xiaoqing<sup>2,3</sup>

(1. School of Electrical Power Engineering, Nanjing Normal University Taizhou College, Taizhou 225300, China)

(2. Jiangsu Electrical Equipment EMC Engineering Laboratory, Nanjing 211106, China)

(3. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** The mechanisms of production and harassment to Surge are employed to investigate the Surge problems of the locomotive emergency ventilation power. This paper studies the processing method and puts forward the solution to Surge problems of power line. The experimental results show that, the Surge level of locomotive emergency ventilation power is efficiently improved, and conformable to GB/T17626.5—2008.

**Key words:** locomotive emergency ventilation power, surge, MOV, GDT

雷击浪涌(Surge)抗扰度试验是电子电气类产品在进行电磁兼容(EMC)试验时广泛采用且较难通过的一项电磁抗扰度试验(EMS)。我国目前针对轨道交通电磁兼容试验的国家标准主要是 GB/T 24338.4—2009 第3部分<sup>[1]</sup>, 该部分规定轨道机车车辆电气和电子设备电磁兼容性试验以 GB/T 17626 系列标准为基准参考标准, 实际试验中再结合具体要求进行试验。

为了维持机车系统的正常运行, 降低 Surge 对机车设备的危害, 必须对机车设备进行 Surge 防护与抑制设计。传统的 Surge 抑制措施主要是设计防护电路, 但由于参数选择不当, 方法单一, 抑制效果有限<sup>[2]</sup>。本文结合某机车紧急通风电源在 Surge 试验中出现的 IGBT 过热问题, 针对 Surge 产生的共模噪声和差模噪声, 设计了组合式防护电路。试验结果表明, 采用所提方法可有效提高该型机车紧急通风电源 Surge 抗扰度等级, 达到 GB/T 17626.5—2008 标准要求<sup>[3]</sup>。

## 1 Surge 机理分析

浪涌(冲击)试验, 主要模拟的情况有: (1) 雷电瞬态, 主要包括直接雷形成的大电流经接地电阻或外部阻抗形成的高电压, 周围物体雷击产生辐射电磁场耦合到电子设备上产生感应电流和电压以及附近直接对地放电的雷击电流经公共接地阻抗产生的感应电压。(2) 电力系统开关瞬态产生的高能量经电源线

收稿日期: 2015-12-31。

基金项目: 泰州市科技支撑计划(SSF20150145)、南京师范大学泰州学院科研项目(Q201240)。

通讯联系人: 窦爱玉, 助教, 研究方向: 电磁兼容技术应用。E-mail: douaiyu881019@126.com

进入设备内部,对内部电路和元器件产生的骚扰,主要危害有过电流融化、过压击穿等.电力系统瞬态包括局部开关瞬态、电力系统切换骚扰和与开关器件相关联的谐振现象等<sup>[4-7]</sup>.

对于直流或交流供电产品,浪涌直接施加到直流或交流电源线上.发生器产生的浪涌波形具体参数为开路电压波前时间为  $1.2\ \mu\text{s}$ ,半峰值时间为  $50\ \mu\text{s}$ ,其波形图和频谱图分别如图 1、图 2 所示,可用双指数函数来拟合 GB/T 17626.5-2008 标准中的浪涌放电<sup>[8-11]</sup>,表达式为:

$$e(t) = kE_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}). \quad (1)$$

式中,  $E_0$  为浪涌峰值,  $\alpha$  为波前衰减系数,  $\beta$  为波尾衰减系数,  $k$  为补偿系数,  $e(t)$  为浪涌的瞬时值. 对于开路电压波  $1.2/50\ \mu\text{s}$ ,  $\alpha = 1.625 \times 10^4$ ,  $\beta = 2.456 \times 10^6$ ,  $k = 1.0409$ .

可以看出浪涌干扰具有干扰能量大、持续时间长的特点,振幅频谱主要集中在频率小于  $1\ \text{MHz}$  的范围内,能量主要集中在几  $\text{kHz}$  到几百  $\text{kHz}$ . 因此其电磁干扰主要为传导电磁干扰,包括差模传导电磁干扰和共模传导电磁干扰.

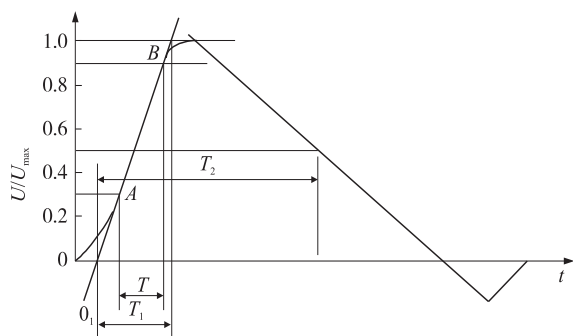


图 1 发生器输出开路电压波形

Fig.1 Waveform of open-circuit voltage

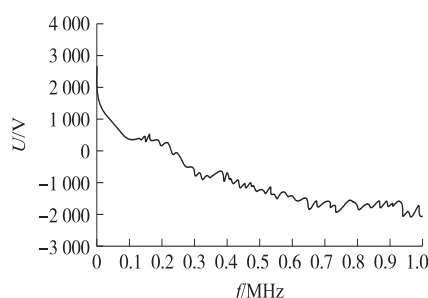


图 2 开路电压频谱

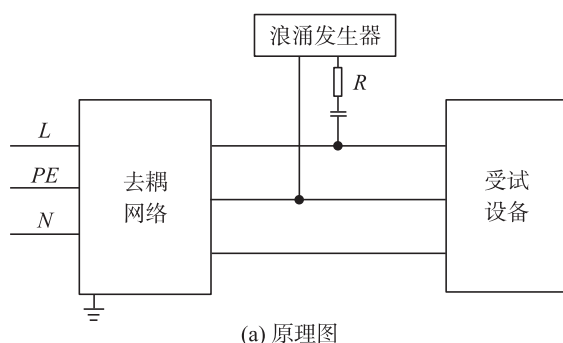
Fig.2 Frequency spectrum of open-circuit voltage

避免对同一电网上的其他设备造成影响,浪涌电压通过耦合去耦网络注入到电源线上,在未特别说明的情况下,耦合去耦网络之间的电缆长度要小于  $2\ \text{m}$ .

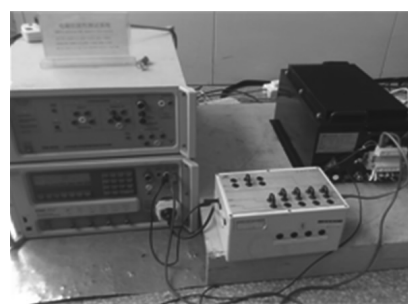
## 2 基于机车紧急通风电源的 Surge 试验问题分析

### 2.1 试验测量

GB/T 24338 标准第 3 部分规定 Surge 试验等级为线-线  $1\ \text{kV}$ ,线-地  $2\ \text{kV}$ ,波形为  $1.25/50\ \mu\text{s}$ . 结合 GB/T 17626.5-2008 标准,对该型电源的雷击浪涌干扰做了相关试验.试验布置如图 3 所示.



(a) 原理图



(b) 实际测试图

图 3 Surge 施加到电源线的原理图和实际接线图

Fig.3 Surge applied to the power phase line and the actual wiring diagram schematic

特别地,由于线-线和线-地测试电压不同,即注入的浪涌能量不同,因此外接电阻的阻值也不同.在对电源线进行差模试验时,外接电阻为零;在对电源线进行共模试验时,外接电阻为  $10\ \Omega$ ;在对信号线进行试验时,外接电阻为  $40\ \Omega$ . 针对该款电源生产厂家的试验要求,对电源线  $L$ 、 $N$  线进行线-线  $1\ \text{kV}$ ,线-地  $2\ \text{kV}$  试验,并分别调整试验电压为  $+1\ \text{kV}$ 、 $-1\ \text{kV}$  和  $+2\ \text{kV}$ 、 $-2\ \text{kV}$ . 表 1 为具体测试结果.

2.2 试验结果分析

浪涌电压试验波形和频谱表明,该脉冲具有脉宽较宽、上升时间长的特点,不含有高频成分,因此其对电路的干扰以传导为主,电源线路上的器件受到的冲击最强,主要体现在过高的共模电压导致线路与地之间的绝缘层击穿,或过高的差模电压导致输入器件击穿损坏.本案例中,无论是线-线 1 kV 还是线-地 2 kV 试验,监测都显示 IGBT 过热,主要原因在于浪涌大电流会使流经 IGBT 集电极-发射极的电流超过集电极-发射极允许的最大电流,或在 IGBT 集电极与发射极形成干扰电压超过集电极-发射极之间的耐压.电流冲击次数过多,将导致 IGBT 寿命严重缩短,甚至烧毁.

表 1 Surge 测试结果

Table 1 Experimental results of Surge

试验项目	试验顺序	实验结果
电源线	$L-N$ +1 kV	监测显示 IGBT 过热
	$L-N$ -1 kV	监测显示 IGBT 过热
	$L-PE$ +2 kV	监测显示 IGBT 过热
	$L-PE$ -2 kV	监测显示 IGBT 过热
	$N-PE$ +2 kV	监测显示 IGBT 过热
	$N-PE$ -2 kV	监测显示 IGBT 过热

3 Surge 干扰抑制

3.1 Surge 保护器件

由于浪涌脉冲的脉宽较宽,常规低通滤波器对其抑制作用有限,目前以专门的浪涌抑制器使用居多.常用浪涌抑制器包括电压钳位型瞬态抑制二极管(TVS)、压敏电阻(VDR)和气体放电管(GDT),其阻抗在正常工作电压下很高,对电路没有影响,而当有浪涌电压施加在其上面时,阻抗瞬间降低,将浪涌能量旁路掉,保护工作电路,如图 4 所示.

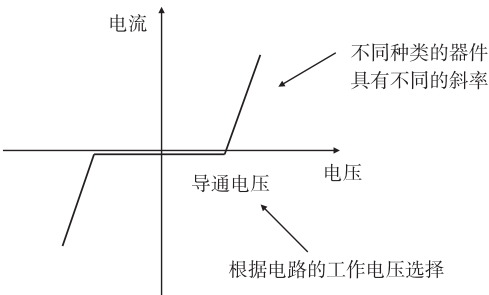


图 4 浪涌抑制器件的伏安特性

瞬态抑制二极管是通过将电压钳位在较低的水平,实现对后级电路的保护,其响应时间可达 ps 级.压敏电阻可将其两端的过电压钳位到相对稳定的数值,实现对后级电路的保护,响应速度为 ns 级.气体放电管的原理为气体放电,当气体放电管两级电压达到一定程度时,极间间隙将被放电击穿,放电管将由原来的绝缘状态转化为类似于短路的导电状态,保护后级电路,此时其两极电压一般维持在 20~50 V 之间,气体放电管的响应时间也达到数百纳秒级.

Fig.4 Volt-ampere characteristics of surge suppression device

由此可见,三类浪涌抑制器件中,气体放电管响应速度一般,但通流量比压敏电阻和瞬态抑制二极管要大.压敏电阻响应时间介于气体放电管和瞬态抑制二极管之间,一般和其他器件配合使用,但压敏电阻经过过电压的多次冲击后,性能会降低,使用寿命较短.瞬态抑制二极管,其钳位电压上升时间比压敏电阻慢,残压输出将会更理想,一般用在需要精细保护的电子系统中,但价格昂贵.

3.2 Surge 防护电路设计

基于以上浪涌防护器件的性能分析,本文设计了一种基于陶瓷气体放电管和压敏电阻的雷击浪涌保护电路,如图 5 所示.

该防护电路采用 2 个陶瓷气体放电管和 5 个压敏电阻组成复合式对称电路,包括共模浪涌电流防护和差模浪涌电流防护,即对紧急通风电源进行共模、差模全保护.将压敏电阻置于电源前端,分别与电源线  $L$  和  $N$  并联,以钳位  $L/N$  间电压.压敏电阻  $VDR_1$ 、 $VDR_3$  与陶瓷气体放电管  $GDT_1$  串联后接地,且  $VDR_4$ 、 $VDR_5$  与  $GDT_2$  串联后接地. $VDR_1$  与  $GDT_1$  串联, $VDR_4$  与  $GDT_2$  串联,分别用来泄放  $L$  线和  $N$  线上的雷击浪涌电流;同时, $VDR_3$  与  $GDT_1$  串联, $VDR_5$  与  $GDT_2$  串联,分别用来泄放信号线上的浪涌能量. $GDT_1$  和  $GDT_2$  在压敏电阻短路失效后,能有效保护电

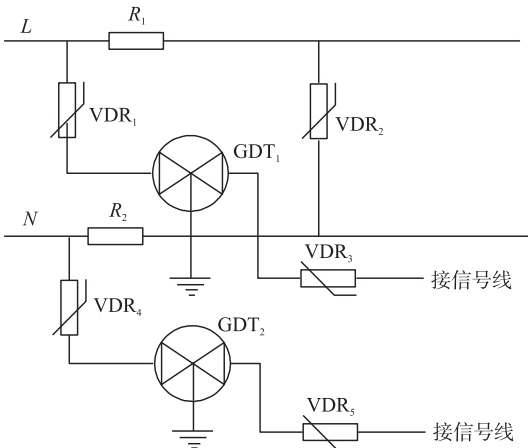


图 5 浪涌防护电路

Fig.5 Surge protection circuit

源电路,不致引起失火.此外,分别在  $L$  和  $N$  线上串联绕线电阻  $R_1$  和  $R_2$ ,在  $VDR_2$  短路失效时, $R_1$  和  $R_2$  可起到保险丝的作用,将短路电路断开.

依据该款电源的实际工作参数,结合电源外形尺寸和封装形式,在提高使用效率和降低故障率的前提下,选择型号为 391K-32D 的压敏电阻与 INT2R470L-8 的气体放电管.在加入防护电路后,按照原有的试验参数进行试验,未再发生 IGBT 过热的问题.同时为了检验所选防护元件的有效性,分别将试验电压等级提高 0.5 kV,测试结果如表 2 所示.

表 2 Surge 测试结果

Table 2 Experimental results of Surge

试验项目	试验顺序	实验结果
电源线	$L-N$	+1.5 kV 监测显示系统正常
		-1.5 kV 监测显示系统正常
	$L-PE$	+2.5 kV 监测显示系统正常
		-2.5 kV 监测显示系统正常
	$N-PE$	+2.5 kV 监测显示系统正常
		-2.5 kV 监测显示系统正常

## 4 结论

针对机车紧急通风电源产生的 Surge 抗扰度问题,本文分析了 Surge 的产生和骚扰机理,提出了基于压敏电阻和气体放电管的浪涌防护电路,并进行了试验验证.结果表明,采用本文所提方法能有效提高机车紧急通风电源 Surge 抗扰度等级,通过 GB/T 17626.5-2008 标准,并留有一定的裕量.

## [参考文献](References)

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 机车车辆设备电磁兼容试验:GB/T 24338.4—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.  
AQSIQ. Railway Application—Electromagnetic Compatibility: Rolling Stock—Apparatus:GB/T 24338.4—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.(in Chinese)
- [2] ZHAO Y, SEE K Y. Fundamental of electromagnetic compatibility and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2007: 31-32, 86-91.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 电磁兼容试验和测量技术:浪涌(冲击)抗扰度试验,GB/T 17626.5—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.  
AQSIQ. Electromagnetic Compatibility Testing and Measurement Techniques: Surge Immunity Test, GB/T 17626.5—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.(in Chinese)
- [4] 张海军. 浅谈通讯设备的防雷击浪涌保护[J]. 信息通信, 2011(5): 130-131.  
ZHANG H J. Introduction to surge protection of communication equipment[J]. Information & communications, 2011(5): 130-131.(in Chinese)
- [5] MONTAO R, EDIRISINGHE M, COORAY V, et al. Behavior of low-voltage surge protective devices under high-current derivative impulses[J]. Power delivery, 2007, 22(3): 2 185-2 190.
- [6] ABDEL-SALAM M, AHMED N A, ELHAMD I S. Varistor as a surge protection device for electronic equipments[J]. Industrial technology, 2004, 12(5): 688-694.
- [7] 张金建, 付贤松, 牛萍娟. LED 驱动电源的抗雷击浪涌设计[J]. 天津工业大学学报, 2012, 31(4): 65-68.  
ZHANG J J, FU X S, NIU P J. Design of lightning surge protection to LED drive power[J]. Journal of Tianjin polytechnic university, 2012, 31(4): 65-68.(in Chinese)
- [8] BROWN M. Power supply cookbook[J]. Elsevier Ltd Oxford, 2001, 42(4): 98-106.
- [9] 郑召文, 杨利霞. 浪涌骚扰对矿用双绞线传输特性的影响[J]. 太原理工大学学报, 2012, 43(5): 569-571.  
ZHENG Z W, YANG L X. Propagation characteristics of surge in mine cable[J]. Journal of Taiyuan university of technology, 2012, 43(5): 569-571.(in Chinese)
- [10] 文武, 阮江军, 陈允平, 等. 架空传输线在间接雷击作用下负载浪涌的分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 116-120.  
WEN W, RUAN J J, CHEN Y P, et al. Surge analysis on load of transmission line under indirect lightning strike[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 116-120.(in Chinese)
- [11] MASTER M J, UMAN M A. Lightning induced voltages on power lines: Theory[J]. Power apparatus and systems IEEE transactions on, 1984, PAS-103(9): 2 052-2 518.

[责任编辑:陈 庆]