

# XR2000型微机保护装置的瞬变脉冲群试验及抗扰措施

兀鹏越<sup>1</sup>, 焦尚彬<sup>2</sup>, 赵黎明<sup>3</sup>, 武自芳<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学, 陕西 西安 710049; 2 西安理工大学, 陕西 西安 710048;

3. 许继电气公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 讨论了快速瞬变电压的产生, 介绍了 IEC61000-4-4 标准中电快速瞬变脉冲群试验标准和方法, 并结合 XR2000型微机保护装置的研制讨论了微机保护中的电磁兼容设计方法及抗扰措施。

**关键词:** 电磁兼容; 快速瞬变脉冲群; 微机继电保护

**中图分类号:** TM774 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)03-0075-04

## 0 前言

随着电力系统自动化水平的提高, 微机测控装置在电力系统中得到广泛应用。为了节约电缆, 减小变电站占地, 减少工程量, 将微机测控装置安装于变电站的开关场地中已成为发展趋势。由于开关场地的电磁环境比控制室内严酷得多, 因此对微机型测控装置的抗电磁干扰性能提出十分严格的要求。

测量装置的抗扰性能要做电磁兼容 (Electro Magnetic Compatibility) 试验。在多种电磁兼容试验中, 电快速瞬变脉冲群试验是比较难于通过的。本文仅就 XR2000型微机保护装置的电快速瞬变脉冲群试验情况及所采取的抗扰对策进行探讨。

## 1 电快速瞬变脉冲群简介

### 1.1 快速瞬变电压的产生

变电站中经常会有断开低压直流电路中的小电感负载 (如继电器、接触器), 以及高压开关 (如 SF6 和真空开关) 切换的操作, 操作过程中会引起暂态干扰电压, 即快速瞬变电压。

这种干扰电压的特征是上升时间快、持续时间短、幅值高、能量小, 但重复率高。实测表明, 脉冲电压可达 5 kV, 脉冲重复频率为 10 kHz ~ 1 MHz。它对电子设备会造成骚扰, 导致逻辑混乱、显示不正常、程序跑飞等故障。但由于其能量小, 通常不对电子设备造成损害。

### 1.2 快速瞬变干扰试验

快速瞬变干扰试验就是用脉冲组来模拟以上的这种暂态过程, 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, 根据被试设备在脉冲群干扰下的工作情况来测试其抗扰性能。

#### 1.2.1 试验信号波形

标准规定快速瞬变脉冲群发生器的脉冲为双指数波形, 上升时间为 5 ns, 持续时间 50 ns, 脉冲群持续时间 15 ms, 脉冲群周期 300 ms, 其波形如图 1。

#### 1.2.2 试验严酷等级

表 1 列出了 IEC61000-4-4 标准对不同严酷等级的实验规范。

## Implementation of an intelligent digital phase-locked loop based on FPGA

SHANG Jia-yi, JIANG Dao-zhuo  
(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** The fundamental principle and the realization process of digital phase-locked loop are analyzed. This paper expounds a method of high precision digital locked phase with the phase-locked loop of FPGA. The proposed method has properties of programmable function, the simple circuit, quick-operating capture, high precision of frequency tracking, etc. It is confirmed through simulation.

**Key words:** digital phase locking; phase-locked loop; FPGA

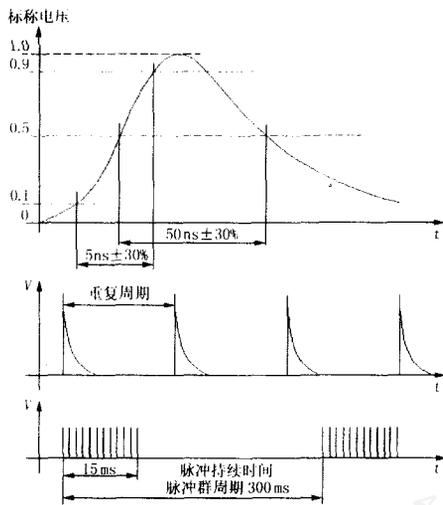


图 1 快速瞬变试验脉冲波形

Fig 1 Waveform of electrical fast transient/burst test

表 1 电快速瞬变脉冲群干扰试验等级

Tab 1 Grades of electrical fast transient/burst test

等级	供电电源端口、保护接地		I/O信号、数据和控制端口	
	电压峰值/kV	重复频率/kHz	电压峰值/kV	重复频率/kHz
1	0.5	5	0.25	5
2	1	5	0.50	5
3	2	5	1	5
4	4	2.5	2	5

要强调指出的是,按标准要求做传导试验时,在 5 kHz 的重复频率下,脉冲群的谐波频率可达 100 MHz,波长约为 3 m。此时传输线的长度已经可以与波长比拟,不能再以普通传输线考虑。信号在导线上传输,部分信号可以通过传输进入受试设备(传导传输);部分信号要从导线上辐射出来,进入受试设备(辐射传输)。所以,受试设备受到的干扰是传导和辐射的结合,了解这一点对装置采取抗干扰措施是非常重要的。

## 2 XR2000型微机保护装置的 EMC设计

提高保护装置抗干扰性的关键,是在产品的设计研制阶段就要考虑到有关 EMC 的设计。这样在产品定型时就容易通过 EMC 试验,即使出现问题,修改也相对简单。若在设计时对 EMC 考虑不足,当产品定型后,再采取 EMC 的补救措施,效果就很有有限,甚至无法彻底解决。

XR2000型微机保护装置在设计中充分考虑到了电磁兼容问题。

装置的设计中贯彻了模块化的原则,各功能模块之间在空间布置上尽量保持分立,在电气连接上

强弱电回路完全分开。该装置整个系统按功能分为 CPU 插件、交流输入插件、电源及逻辑插件、显示面板 4 个部分。各个插件实现功能明确,互不影响,而且彼此之间装有隔离钢板,可以增强空间电磁屏蔽效果,减少电磁辐射的影响。在各插件内部的电路板布置上,也根据电路功能分区布线。比如 CPU 板上的开关量输出、开关量输入、通讯、模拟量输入等各部分分区布置,各区之间以明显的空白线分开。核心软件完全模块化设计,程序分为监控主模块、A/D 采样模块、保护处理等一系列功能单一的独立模块,每个模块彼此独立,结构清晰。

装置的设计注重从整体上考虑电磁兼容问题,除了采用一般的抗扰措施外,还尽可能地采用了最新的一些抗干扰技术。例如通讯方式就选择了抗干扰性能强,实时性好的 CANbus 工业现场总线,该总线十分适合信息帧短,但实时性强的变电站自动化系统。CPU 插件采用 4 层印刷电路板,表面贴装工艺,开关量接口电路采用光电隔离。采用软、硬件看门狗及非法指令中断等措施。具有主要硬件自检功能,根据故障情况闭锁保护出口。电源输入加磁珠、瞬变管、电容等抑制高频干扰,模拟回路与数字回路之间的光电隔离。

根据电磁兼容试验结果来看,这些措施的应用对提高设备的抗电磁干扰性能可起到积极作用,整体效果比较令人满意。

还要指出的是,这些措施的一般应用原则在很多书中都有论述,但在实际的设计中如何综合运用并达到理想的效果,并不是容易的事情,还需要依赖开发设计人员丰富的实践经验。

## 3 提高抗扰性能的对策

### 3.1 试验中的问题

据了解,目前国内电快速瞬变脉冲群干扰试验方面的研究、设计工作开展时间还不长,已经有一些相关的理论书籍文章发表,但各种抗扰的实践方法还都处于摸索阶段,再加上快速瞬变脉冲群干扰机理复杂、传播方式多样,一般初次设计的产品很难一次性成功通过试验,都需要在试验的过程中通过不断采取各种抗干扰措施来逐步提高产品的抗干扰水平。

在 XR2000型微机保护装置的电快速瞬变脉冲群干扰试验过程中,就曾经出现过以下的一些问题:

1) 交流插件加上 3 级干扰并经过一段时间后(一般几十秒),液晶屏幕上字符出现乱码,重复

做时还会有黑屏、花屏现象。干扰消失后显示恢复正常。

2) 交流插件加上 4 级干扰后,系统死机,按任何键盘均无反应,需重新上电才能恢复正常。

3) 电源插件加 3 级干扰后,液晶屏幕黑屏,系统不断自动复位。

4) 电源插件加 4 级干扰后,保护出口继电器误动,系统死机,需重新上电才能恢复正常。

### 3.2 采取的措施

根据试验中出现的问题,对可能产生干扰的各种情况进行了仔细分析,并采取了一系列措施反复进行试验,最终通过了 IEC61000-4-4 标准 4 级的电快速瞬变脉冲群干扰试验,并且 XR2000 型微机保护装置在技术要求范围内工作正常。

试验结果证明,采取如下一些措施对于抑制快速瞬变脉冲群干扰是有效的:

#### (1) 在交流输入回路加铁氧体吸收磁环

在众多的抗干扰措施中,铁氧体 EM 吸收磁环对电快速瞬变脉冲群干扰有较好的抑制作用,受到设计人员的偏爱。

铁氧体材料的基本组成部分是铁氧化物和其他成分如锰、锌、钴、镍等。铁氧体的阻抗为复阻抗,包含实部和虚部,  $Z = R + jX$ 。阻抗的虚部产生感抗,实部提供纯电阻,并随频率变化而变化。当频率较低时,  $R$  和  $X$  均较低,呈低阻抗;随着频率增加,阻抗也迅速增加,并将达到一个峰值。此后,由于电容的影响,阻抗开始下降。

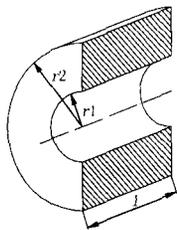


图 2 铁氧体磁环  
Fig 2 Ferrite annulus

铁氧体磁的阻抗:  $Z = P + 2 \phi$

铁氧体磁环的电感表达式:  $L = 0.2N^2\mu L_n ( \frac{2}{1} )$ ;  $\mu$  为材料相对磁导率,  $N$  为匝数。

可以看出,磁环内径  $r_1$  越小,外径  $r_2$  和长度  $l$  越大,铁氧体的阻抗越大。在实际中,  $r_2$ 、 $r_1$  及  $l$  的选择要根据安装空间、价格等因素综合考虑决定。

由电容、电感组成的滤波器为反射式滤波器,可

以将干扰信号反射回发射源,但并不对干扰信号产生损耗;而铁氧体由于自身特点,对直流或低频信号几乎没有功率损耗,而对高频噪声有很强的损耗作用。铁氧体对干扰信号而言属于吸收材料,将干扰信号的能量最终以热的形式释放,其抑制干扰的效果更为明显。铁氧体是非线性导磁材料,磁导率随着磁场强度的变化而变化,当材料趋于饱和时,增量磁导率趋于零。因此,在饱和情况下,铁氧体磁环的作用将消失,在实际选型时要充分考虑到这个问题。

在试验中为了进一步增强对高频干扰信号的吸收作用,在保护装置的每个交流回路输入端增加了 3 个铁氧体磁环,其结构如图 3 所示。

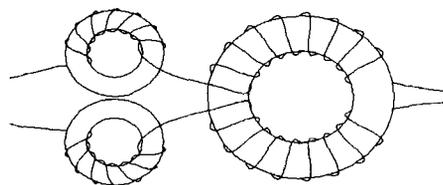


图 3 一组交流回路的铁氧体磁环的绕线  
Fig 3 Wires of ferrite annulus AC circuit

两个小磁环吸收差模高频干扰,大的磁环吸收共模高频干扰。注意大磁环上两个线圈的匝数相同,方向相反。这样两个线圈产生的磁通相反,互相抵消。磁环上导线的匝数也不是越多越好,是根据试验的情况来调整的,最后确定一个最佳的匝数。

#### (2) 割开地线包铜

CPU 插件上 PCB 板地线的包铜形成了闭合的环路,由电磁学理论知,在空间经辐射传输的高频干扰磁场会在环路上感应出电流,环路面积越大,感应电流也越大,干扰愈强。因此将 PCB 地线铜皮割断,就可以消除闭合环路,破坏感应电流的形成条件,有效地减少感应电流的干扰,如图 4 所示。

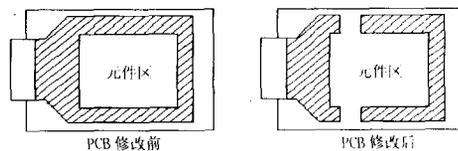


图 4 断开 PCB 上的包地环路

Fig 4 Opening the electric circuit circle of GND on PCB

该措施对试验的成功所起到的作用很明显,因此在电路板设计时特别注意遵循尽量避免形成闭合环路这一原则。应该指出的是,这一原则一般电路板设计人员都知道,但要确实做到这一点并非易事,尤其是在复杂的多层电路板设计中需要在不同层间

布线,更要注意这一问题。

### (3) 只通过一个支柱接地

结构设计时,屏蔽钢板的四个固定铜支柱是与PCB板上的地连通的,目的是为了减小接地电阻,使接地更加可靠。然而这样以来,在这些支柱、屏蔽板和PCB上的地线之间就形成了回路,会感应干扰电流,而这个电流又会通过辐射的形式耦合到电子线路中去。解决的办法是将四个支柱接地改为一个接地,消除环路如图5所示。

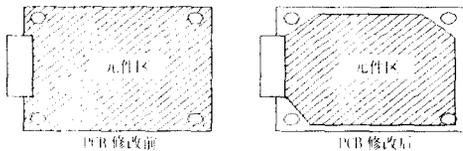


图5 断开PCB上的支柱环路

Fig 5 Opening the electric circuit circle of struts on PCB

## 4 试验中应注意的问题

电快速瞬变脉冲群干扰试验中除了传导干扰以外,还有辐射干扰。因此,试验用电源线的长短,电源线离参考地板的高度,设备和导线的摆放相对位置对试验结果都有影响,不同情况下设备对干扰的响应有可能不同。试验时注意导线不能相互缠绕、交叉。在不同场合重复做试验时必须考虑这些因素的影响,否则将导致试验结果不可重复。

## 5 总结

在保护装置的开发过程中,从开始阶段就要对EMC设计给予充分考虑;否则,产品成型后的EMC补救措施将要付出极大的代价。EMC设计是与试

验紧密相关的,在设计中要重视抗干扰试验工作,在实践中探索有效的EMC设计方法。

## 参考文献:

- [1] GB/T 17626.4-1998,电磁兼容试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[S].  
GB/T 17626.4-1998, Electromagnetic Compatibility-testing and Measurement Techniques—Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test[S].
- [2] 杨吟梅. 变电站内有关电磁兼容问题[J]. 电网技术, 1997, 21(2): 63-64.  
YANG Yin-mei Electromagnetic Compatibility in Substations[J]. Power System Technology, 1997, 21(2): 63-64.
- [4] 程利军. 微机保护抗电快速瞬变脉冲群干扰研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(6): 6-7.  
CHENG Li-jun Research on Electrical Fast Transient/Burst Immunity for Numerical Protection[J]. Electric Power Automatic Equipment, 2002, 22(6): 6-7.

收稿日期: 2004-05-26; 修回日期: 2004-07-18

作者简介:

兀鹏越(1976-),男,硕士,从事电力系统自动化设备的开发与应用; Email: wpy942@163.com

焦尚彬(1973-),男,博士,研究方向为微机在工业控制中的应用,智能化仪表与自动测试系统;

赵黎明(1973-),男,工程师,从事电力系统自动化设备的研发及应用工作;

武自芳(1942-),女,教授,研究方向为微机在工业控制中的应用,现场总线控制技术,智能化仪表与自动测试系统,管理信息系统等。

## Electrical fast transient/burst testing of XR2000 microprocessor-based protective device and its anti-interference methods

WU Peng-yue<sup>1</sup>, JIAO Shang-bin<sup>2</sup>, ZHAO Li-ming<sup>3</sup>, WU Zi-fang<sup>1</sup>

(1. Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China; 2. Xi an University of Technology, Xi an 710048, China; 3. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper discusses the generation of electrical fast transient voltage and demonstrates standards and methods of electrical fast transient/burst experiments in IEC61000-4-4. Based on the development of XR2000 microprocessor-based protective device, this paper also introduces methods of electromagnetic compatibility design and its anti-interference methods.

**Key words:** electromagnetic compatibility; electrical fast transient/burst; microprocessor-based relay protection