

# 几种瞬变骚扰抗扰度试验分析

程利军

(南京中德保护控制系统有限公司,江苏 南京 210003)

**摘要:** 介绍了 IEC 61000-4-X 抗扰度标准、IEC 60255-22-X 系列产品标准以及继电器及装置电磁兼容国家标准 GB/T 14598 之间的对应关系。分析了静电放电、快速瞬变脉冲群、1 MHz 衰减振荡波、浪涌等瞬态脉冲骚扰产生的原因,对继电保护装置的影响,并给出了抑制瞬变骚扰的措施。

**关键词:** 静电放电; 快速瞬变脉冲群; 1 MHz 衰减振荡波; 浪涌; 端口

**中图分类号:** TM973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)09-0035-04

## 1 电磁兼容抗扰度标准简介

IEC/TC 77 委员会制定的 IEC 61000-4-X 抗扰度标准是 IEC 801 标准的扩充,是电气与电子设备的电磁兼容测试的基础性标准,它讨论了在电磁环境中的电气和电子设备的抗干扰性能测试。标准考虑了传导和辐射两方面的内容,涉及了设备与电源、控制线路及通信线路的连接问题。IEC 61000-4-X 中抗扰度试验包含有低频干扰、传导性质的瞬变及高

频干扰、静电放电干扰、磁场干扰、电场干扰等几类。

IEC/TC 95 委员会属于产品委员会,负责“量度继电器和保护装置的电磁兼容要求”的标准制订工作,他们借鉴了 TC 77、CISPR 委员会的基础标准,并且结合继电保护的实际情况,相继制订了“量度继电器和保护装置”IEC 60255-22-X 系列产品标准。在现行的国家标准当中,涉及到继电保护的 EMC 标准为 GB/T 14598、9-10、13、14,等同采用 IEC 60255-22-X 标准。它们之间的对应关系见表 1。

表 1 几种体系标准的对应关系

Tab. 1 The corresponding relation of several system standards

序号	TC 77	TC 95	继电器及装置电磁兼容国家标准	备注
1	61000-4-1:1992 概述	1997-10 新德里会议 确定,由 WG2 提出		
2	61000-4-2:1995 静电放电抗扰度试验	60255-22-2:1996	GB/T 14598.13-1998 (idt) 静电放电试验	
3	61000-4-3:1995 射频电磁场辐射抗扰度试验	60255-22-3:2000	GB/T 14598.9-1995 (idt) 辐射电磁场干扰试验	
4	61000-4-4:1995 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	60255-22-4:1992 (95/88/CDV,修订)	GB/T 14598.10-1996 (idt) 快速瞬变干扰试验	二次系统操作引起的传导干扰
5	61000-4-5:1995 浪涌(冲击)抗扰度试验	60255-22-5 (95/103/CDV)		
6	61000-4-6:1996 射频场感应的传导干扰抗扰度	60255-22-6 (95/78/CDV)		0.009 ~ 80 MHz (TC 95), 0.15 ~ 80 MHz
7	61000-4-7:1991 供电系统及所连设备谐波、谐间波的测量和测量仪器导则			非工频的整数倍,电源质量引起 0 ~ 2.5 kHz
8	61000-4-8:1993 工频磁场抗扰度试验	60255-22-7 (95/85/CD)		大电流导体漏磁引起的磁场 干扰
9	61000-4-9:1993 脉冲磁场抗扰度试验			磁场、电厂及遥控中心
10	61000-4-10:1993 阻尼振荡磁场抗扰度试验			磁场,高压变电站
11	61000-4-11:1994 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验	60255-11:1979 直流辅助激励量的中断 及直流中的交流分量	GB8367-1987 (eqv),正按 idt 修订	电源质量引起

续表 1 几种体系标准的对应关系

序号	TC77	TC95	继电器及装置电磁兼容国家标准	备注
12	61000-4-12:1995 振荡波抗扰度试验	60255-22-1:1988	GB/T 14598.14-1998 (eqv) 1 MHz 脉冲群干扰试验	脉冲群试验,一次系统操作引起的传导干扰
13		60255-25 电磁发射试验		等同于 IEC CISPR 22:1993
14		60255-26 (95/99/CD) 电磁兼容要求。		

比较量度继电器及装置的 IEC 60255-22-X 系列标准以及已经颁布的电力行业标准《500 kV 变电所保护及控制设备抗扰度要求》等标准,继电保护领域正在考虑增加了浪涌(冲击)、射频场感应的传导、工频磁场、脉冲磁场、阻尼振荡磁场以及由于电能质量(如谐波、电压暂降和中断、频率变化、电压不平衡等)抗扰度试验标准,这样才能真实反映变电站中二次设备所处的电磁环境和受到电磁干扰的实际状况。此外,GB/T 14598 标准中涉及电磁兼容的标准也逐步进行修订,并制订与 IEC 60255-22-X 系列标准对等的相关标准。产品类标准的发展趋势是逐步向 IEC 61000-4-X 基础标准靠拢。

IEC 60255-26 提案规定了量度继电器和保护装置各个端口的电磁发射及抗扰度的试验项目及水平。发射试验规定了机箱外壳端口及电源端口产生的电磁骚扰不得超过影响到其它装置正常工作的限值,抗扰度试验考核了连续的瞬态传导性骚扰、静电放电及辐射骚扰对量度继电器和保护装置影响情况。具体的抗扰度试验项目如表 2 所示。

表 2 各个端口对应的抗扰度试验

Tab. 2 The immunity test of every port

	外壳端口	电源端口	通信端口	输入、输出端口	功能地端口
对射频场感应的传导干扰(幅值调制)	√	√	√	√	√
射频辐射电磁场(脉冲调制)	√				
静电放电	√				
快速瞬变脉冲群		√	√	√	√
1MHz 衰减振荡波		√	√	√	
浪涌		√	√	√	
电源频率			√	√	
电压中断		√			
工频磁场	√				

继电保护装置的结构设计时要考虑电磁兼容的要求,这样外壳端口、功能地端口才能顺利通过相关的抗扰度试验。电源端口、通信端口及输入、输出端口的抗扰度试验主要考核继电保护装置的电气设计。其中,静电放电、快速瞬变脉冲群、1 MHz 衰减

振荡波、浪涌等试验属于瞬态脉冲骚扰试验,对于数字电路的影响最为严重;同时有效地抑制这些瞬态脉冲骚扰也是比较困难的。

## 2 几种瞬变骚扰源分析

### 2.2.1 静电放电(ESD)骚扰

作为设备的外壳端口,任何暴露部分都可能发生静电放电(ESD)。常见的情况是在键盘、控制部件、外界电缆等部位或在直接接触的金属构件表面发生 ESD。静电向附近导体(可以是设备本身上的非接地金属板)的放电产生很大的局部瞬态电流,这个电流通过电感或公共阻抗耦合到设备中产生感应电流。

静电放电产生几十安培的纳秒级瞬态电流,通过复杂的路径经过设备流到大地,如果它流过数字设备时,很可能使数字电路发生误动作。放电路径在很大程度上是由杂散电容、机壳搭接和导线电感决定的。这些路径一般会是 PCB 地线的某些局部、寄生电容、外部设备,或暴露的电路等,感应的瞬态对地电位之差会导致电路的误操作。

### 2.2.2 1 MHz 和 100 kHz 衰减振荡波骚扰

1 MHz 和 100 kHz 衰减振荡波骚扰主要是模拟发电厂、变电站的高压母线的开关操作出现重燃以及隔离刀闸的合、分操作引起的陡波瞬态,属于“阻尼振荡瞬态脉冲群(阻尼振荡波)”。1 MHz 和 100 kHz 脉冲群骚扰通过传导、电容耦合及磁场耦合等方式影响继电保护装置。1 MHz 和 100 kHz 衰减振荡波干扰试验包括共模试验及差模试验,试验时间 2 s。图 1 给出了示波器记录下的 1 MHz 和 100 kHz 衰减振荡波波形(由于示波器探头与衰减器接触原因,波形上有毛刺)。对于 1 MHz 衰减振荡波的上升时间为 75 ns 脉冲宽度,能量较大,每个瞬态波形持续时间大约为 10 μs。

### 2.2.3 浪涌(冲击)骚扰

浪涌(冲击)试验考核了设备对由于开关瞬态和雷电瞬态(高额定值熔断器熔断、电网中切换现象、

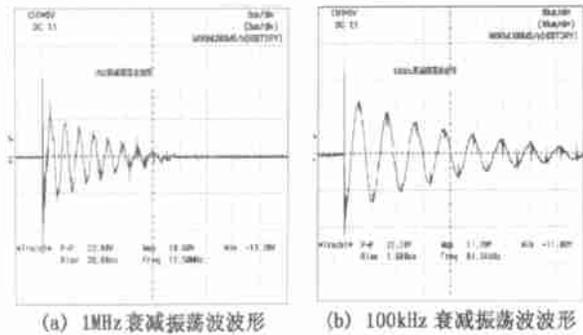


图1 1 MHz和100 kHz衰减振荡波形

Fig. 1 1 MHz and 100 kHz oscillatory wave form

电网故障以及雷击等现象)过电压引起的浪涌(冲击)的骚扰时的动作行为。浪涌试验包括10/700  $\mu\text{s}$  电压/电流浪涌、1.2/50  $\mu\text{s}$  (电压)及 8/20  $\mu\text{s}$  (电流)浪涌。图2给出了示波器记录下幅值为500 V浪涌冲击波形。

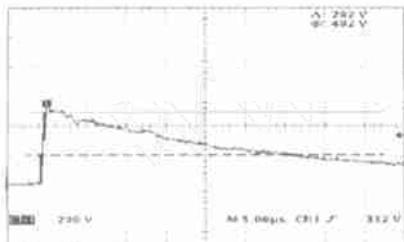


图2 幅值为500 V浪涌冲击波形

Fig. 2 Waveform of 500 V surge

浪涌呈脉冲状,其波前时间为数微秒,脉冲半峰时间从几十微秒到几百微秒,脉冲幅度从几百伏到几万伏,或几百安培到上千安培,是一种持续时间长、能量较强的干扰。浪涌干扰可能会影响电子设备的工作,甚至会烧毁元器件。

#### 2.2.4 快速瞬变脉冲群骚扰

快速瞬变脉冲群骚扰试验验证电气和电子设备对诸如来自切换瞬态过程(切断感性负载、继电器触点弹跳、高压开关切换等)的低能量、高频率、前沿陡峭的脉冲串引起的瞬变骚扰的抗扰度。图3给出了单个瞬变脉冲的理论波形和实验波形。

每个瞬变脉冲有5 ns上升时间、50 ns脉冲宽度、4 mJ能量。这些瞬变的主要特点是上升时间快、持续时间短、能量低、重复频率高。脉冲重复频率为5 kHz/2.5 kHz,脉冲周期为300 ms,脉冲持续时间为15 ms,即在每个300 ms内,仅有75个脉冲(5 kHz)或37.5个脉冲(2.5 kHz)。快速瞬变脉冲群骚扰的重复周期快速瞬变脉冲群骚扰的重复性如图4所示。

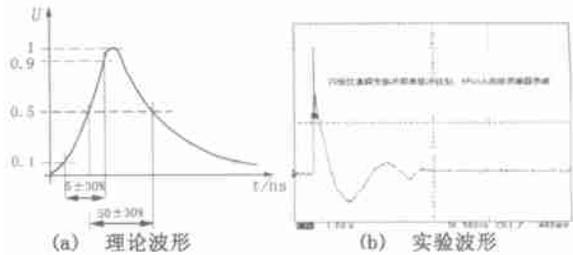


图3 快速瞬变单脉冲波形图

Fig. 3 Electrical fast transient/single pulse waveform

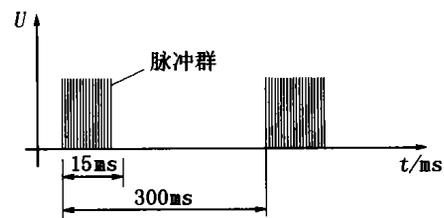


图4 快速瞬变脉冲群重复周期定义

Fig. 4 Continuous recycle definition of electric fast transient/burst

在其重复周期300 ms时间内,仅有15 ms间隔存在脉冲群,其余285 ms时间没有脉冲,每串脉冲群的“占空比”为1/20。瞬变骚扰试验一般要持续1 min,这样共有 $1 \times 60 \times 1000 / 300 = 200$ 串脉冲群。对于5 kHz的瞬变骚扰,1 min时间间隔内,共含 $200 \times 75 = 15000$ 个脉冲。两个脉冲之间的间隔为 $1000 / 5000 = 0.2 \text{ ms} = 200 \mu\text{s}$ ,如图4所示。脉冲的有效宽度在2  $\mu\text{s}$ ，“占空比”为1/100。快速瞬变骚扰的单个脉冲的能量为4 mJ,快速瞬变脉冲群的能量在几十到几百毫焦。

快速瞬变脉冲群将引起数字系统的位错、系统复位、内存错误以及死机等现象。在IC输入端,快速瞬变脉冲群对寄生电容充电,经过累积,最后达到并超过IC芯片的抗扰度电平。可能出现这样的情况:几个脉冲(或短时间的脉冲群)不会引起数字系统失效,而长时间的脉冲群将使装置失效。微处理器及外围器件的各个逻辑元件都有相应的电平和噪声容限,外来噪声只要不超过这些元件的容限值,系统就能维持正常;一旦侵入系统的噪声超过了某种容限,就可能造成微处理器系统出错,成为装置误动、拒动的重要原因。

#### 2.2.5 几种瞬变骚扰分析、比较

IEC61000-4-X抗扰度试验中有相当数量是传导性瞬变骚扰。瞬变骚扰的起因是多种多样,如开关动作、电网故障、自然现象等。由于电子设备发展趋向于数字系统,使得瞬变骚扰试验显得尤其重要。

描述瞬变骚扰的重要特征有:(1)骚扰是单方向的,还是振荡的瞬变;(2)骚扰幅度及持续时间;(3)振荡瞬变的衰减系数;(4)脉冲强度或能量;(5)上升时间(或最大电压梯度  $dv/dt$ );(6)骚扰源的重复率。此外,瞬变骚扰对敏感设备的作用的方式有共模瞬

变骚扰和差模瞬变骚扰。

表3给出了静电放电 ESD、1 MHz 衰减振荡波、电快速瞬变 EFT、浪涌四种典型的瞬变骚扰信号的特性比较。

表3 几种瞬态骚扰比较

Tab.3 Comparison of several transient disturbances

	静电放电 ESD	1 MHz 衰减振荡波	电快速瞬变	浪涌
脉冲上升时间	极快,小于 1 ns	75 ns	很快,约 5 ns	慢,微秒数量级
能量、重复性	低,每秒钟 1 次	高,每分钟 20 个瞬态	中等,单个脉冲为 4 mJ,重复率极高	高,单个脉冲为 4 J 每分钟 12 次
骚扰模式		共模骚扰、差模骚扰	共模骚扰	共模骚扰
电压	15 kV 以上	共模 25 kV(三级) 差模 1 kV(三级)	10 kV 以下	10 kV 以下
电流	人体放电为几十安培,装置放电可达几百安培。		几十安培	几千安培
影响的端口	外壳端口	辅助激励量端口、 输入激励量端口、 输入端口、输出端	辅助激励量端口、 输入激励量端口、 输入端口、输出端口、 通讯端口	辅助激励量端口、 输入激励量端口、 输入端口、输出端口、 通讯端口

### 3 瞬变骚扰的抑制措施

瞬变骚扰的快速上升沿是破坏电路工作的最主要因素,因为它们在天线过程中衰减最小,并在感性地线和信号线中产生较大的电压,对数字电路影响较大。

电源回路瞬态包括差模及共模两种形式。差模尖峰电压往往有较慢的上升时间和较高的能量,为了防止输入电路损坏,需要采取抑制措施。而抑制共模瞬态更困难一些。

对于静电放电抗扰度试验,特别要注意接地及机箱结构设计,保护措施如下:

(1)减少设备金属壳上的孔洞或缝隙。所有金属盖和面板必须以低阻抗连接,至少在两点搭接起来。

(2)机箱良好接地。

对于 1 MHz 衰减振荡波试验,对于各种类型的继电器保护装置是比较容易通过的。只要在各个电源、信号及控制线端口对大地加入耐压值较高的 0.1  $\mu\text{F}$ 或 0.01  $\mu\text{F}$ 解耦电容,构成泻放回路,即可从共模、差模两个方面抑制此种瞬态骚扰。

对于浪涌骚扰,电子设备只能依靠过电压保护或浪涌保护器件来抑制,通过这些器件将浪涌电流泻放至大地。常用的元器件有压敏电阻、齐纳二极管、气体放电管等。电源端口、信号端口由于信号线

较少,添加这些器件比较容易,而输入、输出端口则刚好相反。

对瞬变骚扰可采取以下措施:

- (1)使所有外界接口在空间上相互靠近;
- (2)在所有接口的入口处进行对地滤波;
- (3)用共模扼流圈或光电耦合器隔离敏感接口;
- (4)使用有屏蔽层电缆,并将屏蔽层连接到地线上;
- (5)用接地的金属板,将 PCB 与暴露的金属件或外部放电点隔离开。

### 4 结论

瞬态骚扰对电子设备的危害较大。一方面瞬态骚扰可以通过电缆经设备的端口进入设备;另一方面,还可以通过辐射方式影响设备。据统计,对于微机继电器保护装置,在所有的电磁兼容试验中,几个瞬态骚扰试验非常难于通过。因此继电器保护设计人员对瞬态骚扰必须给予足够的重视。

### 参考文献:

- [1] IEC 60255-26. Measuring Relays and Protection Equipment Part 26 Electromagnetic Compatibility Requirements for Measuring Relays and Protection Equipment[S].
- [2] GB/T 17626. 1-1998. 电磁兼容、试验和测量技术、抗扰度试验总论[S].

(下转第 42 页)

益影响。

## 6 结语

电压软切换完全可以实现传统电压切换装置的全部功能,并且克服了电压互感器二次电压反充电问题,直流操作回路故障造成的失压致使保护误动问题,减少继电保护不正确动作的隐患,提高电网安全稳定运行的水平。电压软切换符合测量数字化,信号传输数字化的需要。

## 参考文献:

- [1] 周正. 交流二次电压回路运行中的问题和对策[J]. 湖南电力, 2000(1): 19 - 21.
- [2] 申宝珊. 倒母线操作中发生的 TN 反充电[J]. 河北电力技术, 1995(3): 16 - 18.

- [3] 宋继成. 220 ~ 500kV 变电所二次接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [4] NDG 89. 能源部电力规划设计管理局. 火力发电厂、变电所二次接线设计技术规定[Z].
- [5] 徐雁, 罗苏南, 叶妙元. 一种新型的光纤电容电压互感器[J]. 华中理工大学学报, 1998, 26(11).

收稿日期: 2002-03-06

作者简介:

吴杰余(1965 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护。

陈德树(1930 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究工作。

尹项根(1956 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究

## A new method of voltage switching

WU Jie-yu, CHEN De-shu, YIN Xing-gen, LI Zhi-xi

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** There are some problems about the secondary voltage switching between voltage transformers of double bus. To solve these problems, a new method, soft switch of voltage, was proposed in this paper. Soft switch of voltage can identify and select working bus intelligently by software, and switch the bus voltage immediately without any contact. This paper also discussed that this method is of advantage to the application of optic instrument transformers and fully digital voltage instrument.

**Key words:** soft switch of voltage; double bus; voltage transformer; protective device

(上接第 38 页)

- [3] 全国无线电干扰标准技术委员会. 电磁兼容标准实施指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [4] Tim Williaams. EMC for Product Designers[M]. Newners, 1996.
- [5] Prasad Kodali V. EMC/EMI Selected Readings[M]. IEEE PRESS, 1996.

收稿日期: 2002-05-15

作者简介:

程利军(1966 - ), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为计算机在电力系统继电保护及自动控制中的应用以及电磁兼容。

## Analysis of several transient immunity tests for measuring relays and protection equipment

CHENGLi-jun

(Nanjing Sino-German Protection & Substation Control System Ltd., Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The standards of the IEC 61000-4-X, the IEC 60255-X and the GB/T 14598 are discussed in this paper. Protective relay works in the serious electromagnetic environment of the substations in which there are electrostatic discharge, electrical fast transient/burst, 1 MHz oscillatory waves and surge disturbances. The bay-oriented design techniques have been widely adopted in power systems. The microprocessor based protective relay is more susceptible and frangible to electromagnetic compatibility. The mechanism of electrical fast transient/burst is introduced in this paper. According to each part of the numerical protection, Some measures aimed at these transient disturbances are presented too.

**Key words:** electrostatic discharge; electrical fast transient/burst; 1 MHz oscillatory waves; surge; port