

微型保护设备浪涌骚扰的测试及抑制

张三庆, 谷雪松, 崔翔

(华北电力大学电力工程系, 河北 保定 071003)

摘要: 分析了浪涌实验中浪涌骚扰的特性。并且通过对一些常用的浪涌保护器 (SPD, Surge Protective Device) 的浪涌骚扰测试, 把它们的浪涌响应时间、残压水平、浪涌峰值电流、寿命等关键技术性能作了比较。然后, 在一个微机保护样品的各个端口施加了浪涌骚扰, 测试了响应特性。通过结果的分析, 找出了各个端口相对于浪涌的敏感位置, 并且给出了合适的浪涌防护方案。最终的结论是, 根据 IEC 标准, 各个端口施加的浪涌电压水平及源阻抗不同, 而且端口电路的响应也不同, 所以各个端口所需要的浪涌防护也是不同的。

关键词: 浪涌; 保护; 端口; 电磁兼容

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)17-0070-05

1 浪涌(冲击)抗扰度实验

电力系统中, 雷击可以在二次电缆上感应出很大的骚扰, 同时开关操作也可能产生瞬态的过电压。浪涌(冲击)抗扰度试验就是考核设备在这些骚扰下的抗骚扰能力。

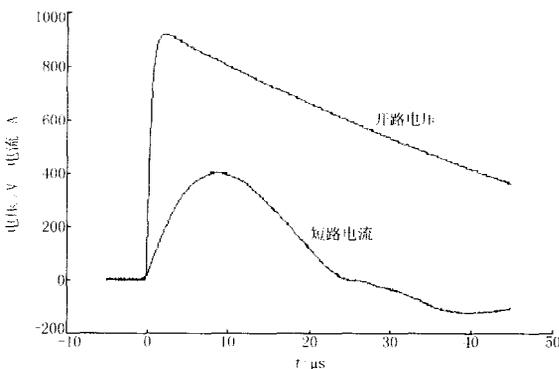


图1 浪涌骚扰波形、开路电压及短路电流
Fig. 1 Waveform of surge, open-circuit voltage and short-circuit current

图1为使用 Schaffner 公司的 Bestplus 综合试验仪产生的 1.2/50 μs 的浪涌开路电压波形和 8/20 μs 短路电流波形。

图2为 1.2/50 μs 浪涌开路电压波形的频谱分析。

由图1和图2可以看出, 浪涌骚扰能量高, 持续时间较长, 具有不可恢复的损坏能力; 能量主要集中在低频(小于 1 MHz), 它的传播方式主要是传导。

根据 IEC 61000-4-5 标准, 浪涌信号发生器有三种源阻抗: 2 Ω 阻抗表示低压电网的源阻抗; 12 Ω 表示低压电网对地的源阻抗; 42 Ω 表示其他线路对

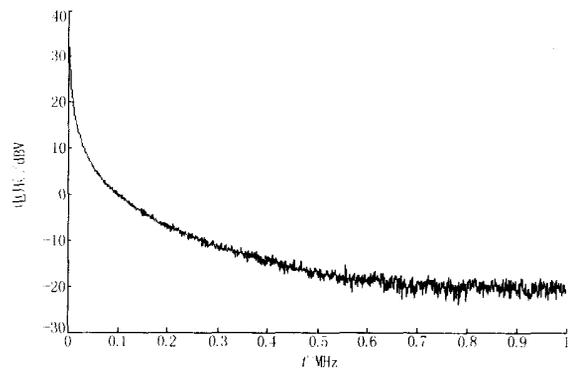


图2 浪涌骚扰开路电压 FFT 分析

Fig. 2 FFT analysis of open-circuit voltage of surge

地的源阻抗。所以同样的电压等级, 各个端口输入的浪涌电流是不一样的。

根据《500 kV 变电所保护和控制设备抗扰度要求》, 浪涌骚扰施加在保护设备的电源端口、信号端口。电源端口中, 直流电源端口线对线试验等级为 2 级, 线对地试验等级为 3 级; 交流电源端口线对线试验等级为 3 级, 线对地试验等级为 4 级。信号端口按照连接类型分为本地连接、现场连接、至高压设备、至通讯设备。至高压设备、通讯设备的端口要求最高, 线对线试验等级为 3 级, 线对地试验等级为 4 级; 现场连接, 线对线试验等级为 2 级, 线对地试验等级为 3 级; 本地连接要求最低, 线对线试验等级为 1 级, 线对地试验等级为 2 级。

2 常用浪涌保护器

抑制浪涌骚扰常用的浪涌保护器 SPD 有: 压敏电阻、气体放电管、TVS 放电管、半导体放电管等。

选择 SPD 的主要技术指标是响应速度、限制电

压水平、通流耐量(最大峰值电流)和使用寿命。响应速度反映了 SPD 对于快速脉冲的响应能力,浪涌保护器的响应时间必须比浪涌电压的速度快,响应时间越小,抑制浪涌瞬态电压的速度就越快。一般来说,浪涌保护器的响应时间应小于 10 ns;限制电压水平反映的是在一定的脉冲电流下残压的高低,如果残压过高,就需要下一级的 SPD 继续限制电压;通流耐量反映的是浪涌保护器承受额定次数的脉冲电流而不被破坏的能力;一些 SPD 的使用寿命是有限的,如气体放电管和压敏电阻,在一定峰值电流的浪涌电流冲击下,只能动作有限次,而且每次动作后,性能都会下降。所以,对于这些元件,一定要查看厂家提供的相关的寿命曲线图,使元件有足够的峰值电流裕量,保证元件有足够多的动作次数。

压敏电阻是一种最经常使用的浪涌保护器。它的优点是通流电流大(通流容量和元件面积成正比,一种普通的 34φ 的 TVR 氧化锌压敏电阻的单次峰值电流可以达到 40 kA),价格低廉,额定电压范围广。缺点是它属于箝压型器件,而且箝位因子很大(大于 2)。如果要保护诸如数字电路等需要精密保护的电路,单一的压敏电阻是不够的。

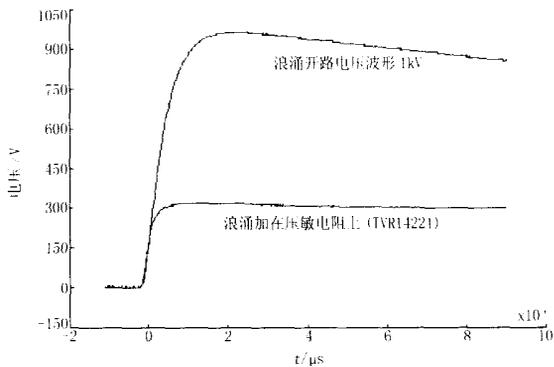


图3 压敏电阻对浪涌骚扰的抑制

Fig. 3 Suppressive ability of VSR to surge

图3为使用 HP54645D 数字存储示波器测得的压敏电阻对浪涌的抑制波形。可以看出,对于额定电压为 220 V 的压敏电阻,实际残压超过了 300 V,随着浪涌电流的增大,残压还会增大。而且,残压下降缓慢,持续时间较长。

气体放电管的通流容量也很大(日本 CM2P 系列可以达到 10 kA),而且属于开关型器件,动作后的残压很低。缺点是导通速度比较慢。气体放电管动作有两个阶段:辉光放电阶段、弧光放电阶段。一旦浪涌电流很大,元件进入了弧光放电阶段,这时就有一个熄弧电压(十几到几十伏),如果电路工作电压

超过了这个电压,元件产生续流电流,使得弧光无法熄灭,最终使得元件烧坏。由于许多保护设备的电源采用了直流输入,这时不适合采用气体放电管。

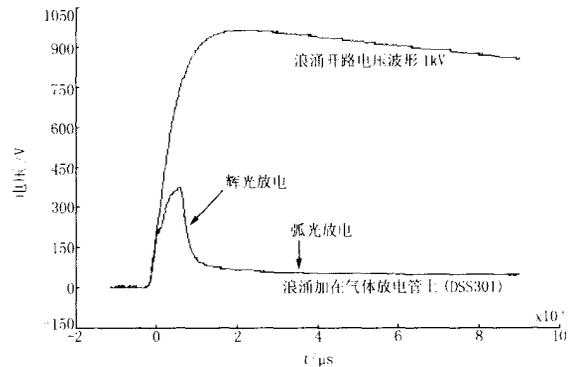


图4 气体放电管对浪涌骚扰的抑制

Fig. 4 Suppressive ability of GDT to surge

图4为气体放电管对浪涌的抑制波形。可以看出,它的残压很低,但是由于反应速度慢(μs 级别),在辉光放电开始之前有一个脉冲。这个脉冲大于它的额定电压 300 V。

TVS 二极管类似压敏电阻,也是箝压型器件,反应速度也很快,它的优点是箝位因子比压敏电阻小(1.2~1.4)。但是它的峰值电流耐量很小(如一种型号为 1.5KE250 的 TVS,它在 10/1000 μs 的浪涌下峰值脉冲电流仅为 5 A,折算到 1.2/50 μs 也不超过 30 A),而且,对于同样材料的 TVS,额定电压越高,峰值电流耐量越小,即:它们的峰值功率是一定的。所以,TVS 适用于电压等级较低而且浪涌电流不大的电路,作为比较精确的过电压保护。

半导体放电管的性能类似于气体放电管,是开关型器件。它比气体放电管反应速度快,优点是寿命长不易老化,但是峰值电流耐量较小,一般的产品大都在 200 A 以下。所以使用受到限制。

SPD 的寿命和它所承受的脉冲波形、脉冲持续时间、冲击次数、冲击电流峰值等多个因素有关。对于试验所用的标准波形,要考虑的因素主要就是冲击次数和冲击电流峰值。要估计瞬态抑制元件上所承受的浪涌电流峰值,需要知道不同试验类型的骚扰源内阻抗,以及 SPD 的动态阻抗。由于开关型 SPD 阻抗很小甚至负阻抗,所以可以直接用浪涌骚扰的峰值电压和源阻抗估计浪涌电流峰值。箝位型元件的动态阻抗很大,要估计浪涌电流峰值,需要根据厂家提供的最大箝制电压/峰值电流曲线 $U = f(I)$,以及浪涌骚扰源的伏安特性曲线 $U = U_s - IR_1$, U_s 为浪涌骚扰源电压, R_1 为浪涌骚扰源阻抗,以

电阻近似代替。绘图得出两者的交点,交点对应的电流就是最大峰值电流。选择元件时,根据估计的峰值电流,查找浪涌寿命/冲击次数曲线,使得元件至少可以承受 100 次左右的冲击。一般来说,较大尺寸的元件有较大的峰值电流耐量。使用大尺寸元件对于箝位型的元件还有一个好处:残压可以降低。这是因为大尺寸的元件相当于多个小尺寸元件的并联,而并联的动态阻抗下降,因而残压相应下降。

随着科技的不断发展,SPD 朝着新材料、小型化、智能化发展。如:有 PNPNP 五层结构的双端负阻抗器件 CSSPD,组合型自动报警的浪涌保护器等等。

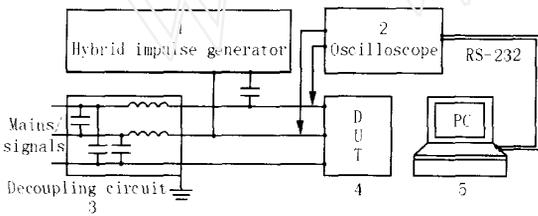


图 5 浪涌进入保护测试实验的配置

Fig. 5 Experimental configuration when surge goes into protective relay

3 浪涌进入保护装置

本文以某公司的电容器保护为样品,分析了浪涌骚扰进入保护各个端口的情形。图 5 为试验配制的示意图。1 是组合骚扰发生器,用于产生浪涌骚扰;2 是存储示波器,用于采集波形信号;3 是去耦网络,防止骚扰进入电源等辅助设备;4 是被试保护设备;5 是 PC 机,它通过 RS232 通讯口,把示波器采集的波形存储。由于浪涌的峰值很高,试验中还需要分压器。另外还需要分流器测量输入浪涌电流。

首先分析浪涌以差模形式加入保护各个端口的情况。

在交流电流信号输入端,差模骚扰的源阻抗是 42Ω ,所以浪涌输入电流不是很大。图 6 是 1 kV 的浪涌加在电流变换器上的电流波形,它的峰值只有 20 A 多。由于电流变换器可以承受 $20 I_n$ 的故障电流(100 A),所以即使按照 3 级试验,电流也不会太大,输出的电压不会对后边的电路产生危害。所以交流电流输入端口本身对差模形式的浪涌不敏感。由于浪涌电流可能超过速断定值,所以需要一些软件措施。

在交流电压端口,浪涌骚扰以差模形式加到电压变换器上,测得输出电压如图 7 所示,电压变换器原副边电压关系并不符合它的变比,这是因为浪涌

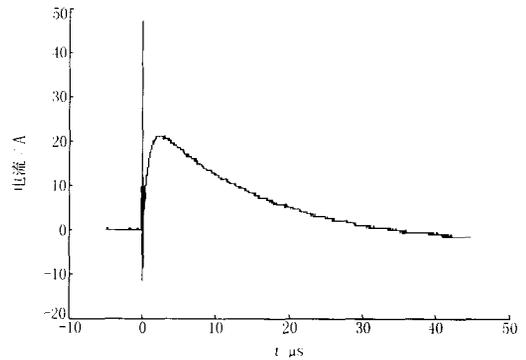


图 6 浪涌骚扰进入电流端子,输入电流波形

Fig. 6 Input current waveform when surge goes into current port

电流过大,使得变换器饱和。可以看出,交流电压端口对差模浪涌不敏感,骚扰电压不高。所以输出端采用 TVS 抑制(最好放在输出电阻后,可以大大减少泄放电流)。如果考虑到电压变换器本身可能被浪涌骚扰损坏,可以在它的原边加 SPD,比如压敏电阻,容量不需要很大。根据经验,如果试验等级不是很高,不采用任何措施也是可以通过测试的。

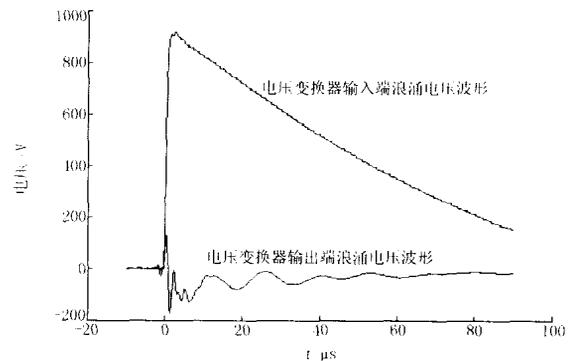


图 7 浪涌骚扰进入电压变换器,输入输出波形

Fig. 7 Input/output voltage waveform when surge goes into voltage transformer

因为在变电站,大多微机型保护采用直流开关电源,所以试验等级为线对线/线对地为 2 级/3 级。如果采用交流电源,那么试验等级都要提高一级。开关电源本身在开关管开断过程中就会产生很多的尖脉冲骚扰,所以,一般的开关电源生产厂家在抑制骚扰方面都做了很多措施,在输入输出都有滤波电路。输入滤波电路一般由两个电容和一个电感组成型电路。电容可以延缓浪涌波形的上升速度,减少它的幅值。但是由于浪涌的能量很大,只有很大的电容才可以很好地吸收浪涌。如图 8,比较了不同容量的 CBB 电容对浪涌的吸收波形,可以看到电容容量直到

3.3 μF 才可以达到很好的吸收效果。但是由于高压大电容体积大,所以可以选择较低额定电压的电容放在滤波电感后边(浪涌电压已经下降)。实际开关电源中,在开关管前边有一个储能电解电容,容量巨大(上千 μF),这对吸收有很大的好处。

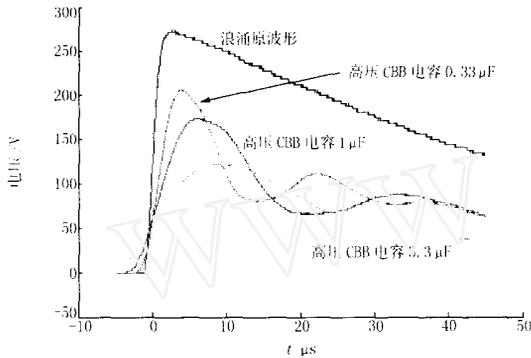


图8 不同容量的电容对浪涌骚扰的抑制

Fig. 8 Suppressive ability of different capacitance to surge

对于不同的骚扰,合适的滤波电感材料是不一样的。对于浪涌骚扰,由于频谱集中于低频段,所以简单的硅钢片铁心材料是合适的。因为它的低频涡流损耗很大,所以对浪涌抑制能力更强。图9是电感量接近的硅钢片铁心电感和纳米晶材料电感对浪涌抑制能力的对比,负载是50 Ω 电阻。

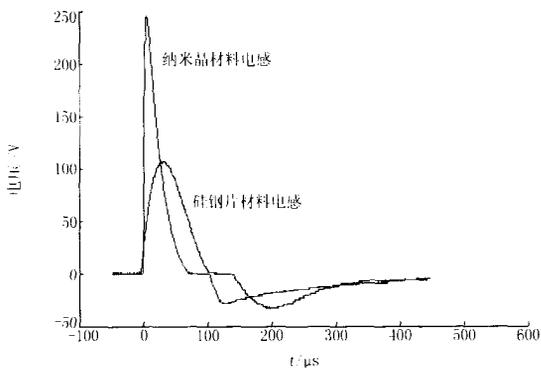


图9 不同材料的电感对浪涌骚扰的抑制

Fig. 9 Suppressive ability of different inductance to surge

在开关电源的输出端口,也有类似的滤波器,由于电压低,所以大量采用了大容量的电解电容。根据实测发现,最终输出中的骚扰已经很微小。所以,开关电源抑制差模形式的浪涌的能力还是很大的,它的输出对其他的电路危害不大。主要的威胁还是在输入端,尤其是用于抑制射频骚扰的电容。所以如果浪涌试验的等级很高,需要把电源输入端加强。比如在

滤波电感后加入半导体放电管或者压敏电阻(因为这里的浪涌电流较小,可以选择小容量的元件)。

在开关量输入端口,连接类型是多样的。有本地连接(如:其他保护的闭锁信号),也有至高压设备的连接(如:断路器操作机构信号)。但是开关量输入端口一般采用光隔进行信号转换。根据实测,在此端口以差模形式加入浪涌,输出端的骚扰很小(几伏),不会进一步影响CPU等其它电路。所以,主要还是要保护光隔本身不受到浪涌冲击。由于光隔的正常工作输入电流很小,它的前边一般串联很大的电阻(10 k Ω 左右),这些电阻实际上也限制了浪涌电流。所以在光隔的输入端口并联24 V的TVS,完全可以保护光隔。

保护设备的开出信号有中央信号、远动信号和操作信号。中央信号给中央控制屏,远动信号给了RTU,一般都是本地连接(除非RTU不在控制室而在通讯室内)。这些端口都是继电器的一对干接点,所以对差模骚扰不敏感。而操作信号通过操作板转化成了跳合闸出口,这些端口在没有操作的时候,回路都是断开的,对差模骚扰也不敏感。所以开出端口对差模浪涌是不敏感的。

共模骚扰的传输机理和差模骚扰不太一样,它不仅仅沿电路传导,而且会通过耦合窜入其他的电路。这种耦合和元件类型、电路布局以及进出线的安排都有关,也是很不容易控制的。由于共模电流很小,所以共模信号沿传输路径的衰减也不大。比如,在电源端口加入500 V共模浪涌,在5 V输出端仍可以测到峰值为225 V的骚扰信号。共模骚扰的四处传播,对整个系统都产生了威胁。测试中发生过在电源端加入共模骚扰,液晶显示被损坏的情况。共模浪涌骚扰的抑制很容易被人们忽视,但是实践表明,浪涌的高电压比大电流更加具有破坏力,而且浪涌试验中共模的电压等级相对差模要高。所以,我们应该重视共模骚扰的抑制。一般的,我们可以采用变压器屏蔽接地,增加共模电容的方法提高系统的共模骚扰抑制能力,但是根本的办法还是在各个信号、电源端口加入对地的瞬态抑制元件,以及采用良好的接地系统。对于共模骚扰较高的残压是可以接受的,所以在各个端口采用压敏电阻是可靠经济的选择。

4 结论

微机保护设备要通过浪涌骚扰实验,首先要了解根据标准各个端口施加的浪涌特性,以及各个端

口电路本身的特性。针对电路的可能的弱点,估计最大的浪涌电流并留有足够的裕量,选择合适的瞬态抑制器。要兼顾经济性和可靠性,并且重视共模骚扰的抑制。

参考文献:

- [1] 500 kV 变电所保护和控制设备抗扰度要求 (Immunity Requirement for Protection and Control Equipment in 500 kV Substation) [Z]. 2000.
- [2] IEC Immunity Standards 1000-4-5,浪涌冲击抗扰性试验 (Surge immunity test) [S].
- [3] Dev Paul. Low Voltage Power System Surge Overvoltage Protection[A]. Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference. 2000. 21-29.
- [4] Chiste A, Funke J. Electronic Systems Protection via Advanced Surge Protective Devices[A]. Telecommunications Energy Conference. 2002. 22-26.
- [5] Emeler K, Pfeiffer W, Schoen D, et al. Surge Immunity of Electronic Equipment [A]. International Symposium on Elec-

tromagnetic Compatibility. 1999. 90-93.

- [6] 韩青 (HAN Qing). 瞬态脉冲骚扰及抑制方法 (Transient Pulse Disturbs and Its Suppressive Technology) [A]. 电力系统电磁环境与电磁兼容学术研讨会论文集 (Proceedings of the Conference on EM Environment and EMC), 2002. 102-107.
- [7] 钱振宇 (QIAN Zhen-yu). 瞬变电压吸收器件 (Transient Voltage Absorber) [J]. 上海电器技术 (Shanghai Electric Appliance Technology), 1995, (4): 27-36.

收稿日期: 2003-11-15; 修回日期: 2003-12-22

作者简介:

张三庆 (1973 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统电磁兼容; E-mail: ziyi-yun@163.com

古雪松 (1961 -), 男, 实验师, 主持电磁场与电磁兼容实验室工作;

崔翔 (1960 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电磁场理论及其应用、电力系统电磁兼容、光纤传感技术等。

Measurement and prohibition of surge on microprocessor based protective relay

ZHANG San qing, GU Xue song, CUI Xiang

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: This paper makes an analysis of the characteristic of the surge disturbance. A number of Surge Protective Devices (SPD), such as gas tube arresters, metal oxide variators, transient voltage suppressors (TVS), are tested. And their main technical parameters, including response time, the level of the residual voltage, maximum peak pulse current and life times, are compared. Consequently a series of tests are performed on a microprocessor based protective relay taking account of the standard of IEC 61000-4-5. Then the responses of surge disturbance on each port of the relay are measured. According to the analysis of the data gained, some advice is put forward to restrain the surge disturbance. Diverse protective measures should be taken since the surge disturbance applied on each port differs and the circuit characteristic of each port varies.

Key words: surge disturbance; protective relay; port; EMC

(上接第 69 页 continued from page 69)

参考文献:

- [1] YDN 010-1998, 光缆线路自动监测系统技术条件 (Optical Cable Auto Monitoring System Technique Qualification) [S].

作者简介:

池瑞军 (1971 -), 男, 工程师, 从事光缆监控方面的应用研究;

胡封东 (1971 -), 男, 工程师, 从事光缆监控方面的应用研究;

杨芳利 (1974 -), 女, 工程师, 从事电力通信网监控和光缆监控方面的产品研发。E-mail: fangliyi@xjgc.com

收稿日期: 2004-02-06; 修回日期: 2004-02-25

The design of optical cable auto monitoring and management system

CHI Rui-jun¹, HU Feng-dong¹, YANG Fang-li², ZHANG Zi-yu², WEI Ming-xia², PEI Meng-xiang²

(1. Xuchang Electric Power Bureau, Xuchang 461000, China; 2. Changnan Communication Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper expounds the development background and its design scheme of optical cable auto monitoring and management system. The proposed system adopts the design of the light power spring OTDR test, which makes system monitoring realtime. Aiming at fiber optical cable's status the system includes manifold test modes, the software which possesses perfect object-oriented software design and graphical interface adopts advanced technique for system development and maintenance. The paper relates the designs of hardware and software module and system characteristics.

Key words: optical cable network; optical time domain reflect testing; real-time monitoring