

智能电器监控单元的电快速瞬变脉冲群抗扰度研究

牛 博, 宋政湘, 王建华, 耿英三, 王 婧

(西安交通大学电力设备与电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

Study on Electrical Fast Transient Burst Immunity of Digital Relay

NIU Bo, SONG Zheng-xiang, WANG Jian-hua, GENG Ying-san, WANG Jing

(The State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi 'an Jiaotong University, Xi 'an 710049, China)

摘要: 讨论了电快速瞬变脉冲群干扰的产生机理和特征, 分析了电快速瞬变脉冲群在智能电器监控单元各个端口的传播途径, 进行了相应的抗干扰设计, 通过试验证明采取预防措施后装置的抗干扰能力得到提高。

关键词: 智能电器监控单元; 电磁兼容;
电快速瞬变脉冲群; 抗扰度

中图分类号: TM77 文献标识码: A

Abstract: The generation mechanism and the characteristics of EFT/B are analyzed and the transmitting track of EFT/B interference for ports is discussed. The anti-interference designs are proposed and it is proved that the proper immunity design can enhance the anti-interference ability of equipment by experiment.

Key words: digital relay; electromagnetic compatibility;
electrical fast transient burst; immunity

0 引言

电力系统中电磁环境异常复杂, 在正常和异常运行状态下都会产生各种电磁干扰, 在实验室进行定量或定性分析模拟的电磁干扰的电磁兼容试验中, EFT/B(电快速瞬变脉冲群)由于脉冲上升时间极短、幅值高且重复率高而成为抗扰性试验中最容易出现问题的一个项目。近年来对智能电器监控单元、微机保护装置等二次侧微机设备的电快速瞬变脉冲群抗扰度的研究已经成为一个热点, 但以往的研究工作多集中在通过相应干扰措施使得装置通过电磁兼容实验, 并未给出不同抗干扰措施的选择依据和试验效果对比^[1-2]。因此, 笔者分析了电磁干扰的情况和电快速瞬变脉冲群(EFT/B)对智能电器监控单元的影响, 针对装置的不同端口系统提出了相

应抑制措施以及不同措施的选择依据, 并通过试验波形的对比使之得到验证。

1 EFT/B 产生机理及其危害

在 EFT/B 模拟低压回路中, 感性负载的切换(如机电式继电器、接触器等)所产生的暂态干扰, 其典型暂态过程见图 1。

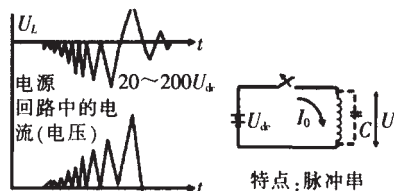


图 1 EFT/B 实验模拟感性负载开断的暂态过程

在电弧复燃和熄灭这一过程中, 开始脉冲电压幅值低, 频率高, 随着触点间隙的增大, 脉冲电压越来越高, 但脉冲频率下降。实测表明, 脉冲电压可达 5 kV, 脉冲重复频率为 10 kHz~1 MHz^[3]。国际标准及国家标准中的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验就是为模拟这种暂态干扰而规定的, 其试验波形见图 2, 试验电压 1~4 级分别为 0.5, 1, 2, 4 kV^[4-5]。

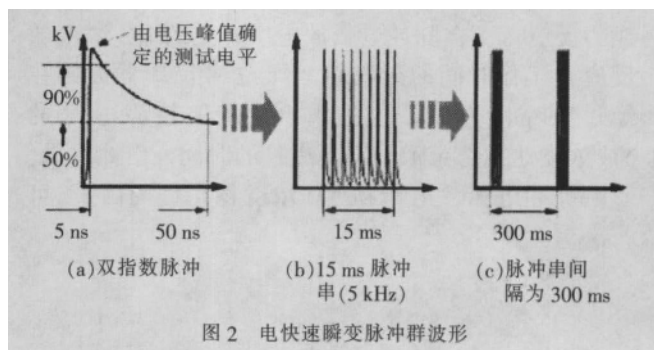


图 2 电快速瞬变脉冲群波形

EFT/B 对二次设备的控制电路有很大的影响,

收稿日期: 2006-05-09; 修回日期: 2006-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50477026)。

作者简介: 牛 博(1980-), 男, 博士研究生, 从事智能化电器及其电磁兼容性能的研究。

一串低能量的脉冲群作用于传输线上,使干扰电平的幅度最终超过电路的噪声门限,从而造成数据采集系统误差加大、控制状态失灵、数据受干扰发生变化、程序运行失常等严重后果^[1]。

EFT/B 单个脉冲(2 kV, 5 ns/50 ns)的频谱见图 3。由图中可以看出: EFT/B 的频带较宽,可以达到 300 MHz 以上; 能量主要集中在 40 MHz 以下的区域; 300 MHz 以上的干扰已经很小,所以在抑制快速瞬变干扰时,主要考虑 100 MHz 以下的频率成分。

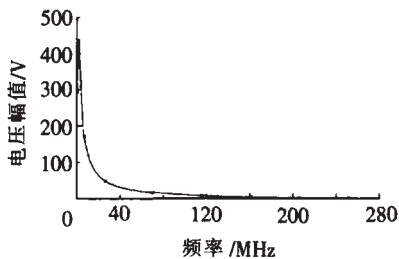


图3 电快速瞬变脉冲群的幅值密度频谱

2 智能电器监控单元干扰端口的定义

智能电器监控单元由输入、中央控制、输出和通信 4 大模块组成,监控单元输入模块主要完成对开关元件各种运行状态、参数和特性的在线检测,并将检测结果送入中央控制模块,由中央控制模块完成对开关电器元件运行状态和参数的处理,使其按照指定的方式进行操作。其中的运行参数还可以通过现场总线、数字通信网络等上传至上位机,并接受发送的有关信息和指令。常见的监控单元包括电子脱扣器、马达控制器、双电源转换器、电能质量监控器等。

电磁干扰以辐射和传导方式侵害设备。端口就是传输的“界面”或途径,通过这些端口,电磁干扰进入或出自被考虑的设备。干扰的性质和程度与端口类型有关。辐射干扰出现在设备周围的媒介中,传导干扰出现在各种金属性媒介中。参考 IEC TC95 量度继电器和保护设备委员会提出的“量度继电器和保护装置的电磁兼容要求(IEC 60255-26)”的提案,针对电快速瞬变脉冲群,智能电器监控单元的端口可具体定义如下^[6]: 电源端口为装置的交流/直流辅助激励量输入; 功能接地端口是装置连接到大地的端口; 输入端口是为了实现某些功能,装置被激励或控制的端口,例如电流、电压互感器,开关量、模拟量输入等; 通信端口为通信系统或者控制系统提供的与装置永久连接的低能量信号接口。

3 EFT/B 抗扰度对策分析

提高设备抗干扰性的最根本途径是在设备的设计研制阶段就考虑到电磁兼容性的要求,进行电磁兼容性能的考核,下面对智能电器监控单元的各个

端口进行抗扰度分析。

3.1 电源端口

电源端口是电磁干扰最易进入的通道,从其它端口耦合的干扰都可以通过电源构成回路,从而降低设备的抗扰度。电源回路抑制 EFT/B 干扰的方法主要采用滤波。图 4 为监控单元的电源回路设计。

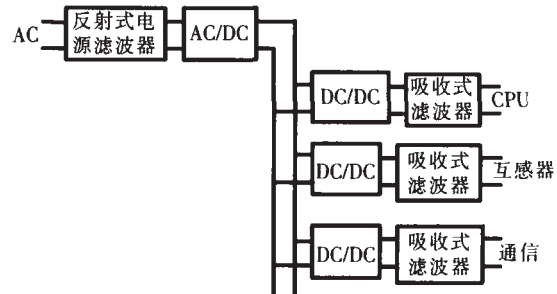


图4 智能电器监控单元供电回路的设计

电源回路采用分布式供电,多级电压变换,使得各个工作模块电源独立,模块之间不会产生相互干扰。另外,在电源入口处安装反射式电源滤波器来阻止干扰信号通过,在开关电源出口处安装吸收式滤波器来吸收外界和开关电源产生的干扰信号。

反射式滤波器的工作原理是在射频电磁波的传输路径上形成很大的特性阻抗不连续性,将射频电磁波中的大部分能量反射回源处^[7]。大多数反射式电源滤波器是按照源和负载阻抗 50 设计的,根据信号传输理论,滤波器输入端口与骚扰源输出端口的端接、滤波器输出端口与负载的端接应遵循阻抗匹配原则,即设计滤波器的阻抗应远大于 50 。而另一方面,滤波器中所采用的串联电感容量受到电源频率下允许电压降的限制,并联的滤波电容容量受到允许接地漏电流的限制,均不能选择太大。另外,由于源阻抗和负载阻抗总是处于不断变化之中,滤波器的性能在实际情况下往往不能达到最佳。因此,采用试验的方法对滤波器进行选择,图 5 示出了在快速瞬变脉冲群试验(EFT/B)峰值为 500 V 时,电能质量监测器电源模块安装两种不同的电源滤波器的差模试验波形比较,通过比较,针对不通的装置、不同的负载选择合适的电源滤波器。

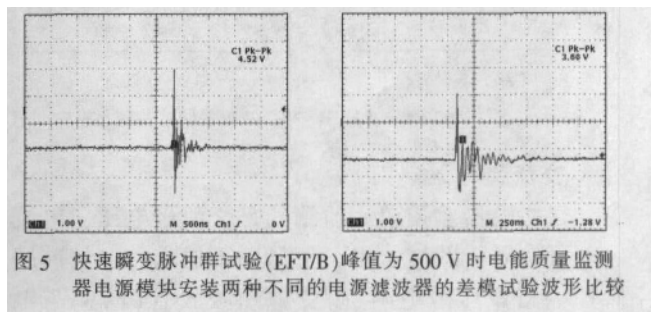


图5 快速瞬变脉冲群试验(EFT/B)峰值为 500 V 时电能质量监测器电源模块安装两种不同的电源滤波器的差模试验波形比较

吸收式滤波器是将干扰信号吸收掉,以达到滤波的目的。在智能电器监控单元中,考虑到体积与

价格因素,多采用有损耗滤波器,其基本原理是选用具有高损耗系数或高损耗正切角的电介质,把高频电磁能量转换成热能。在实际使用中是将铁氧体类的物质制成磁珠,磁珠在低频段呈现出非常低的感性阻抗不会影响数据和有用信号的传输,在高频段虽然阻抗增加,但感性分量仍很小,电阻分量却迅速增加,将高频干扰能量转化成热能消耗掉。铁氧体磁珠由铁氧化物、钴、镍或锰、锌及稀土元素组成,其磁导率 $\mu = \mu' - j\mu''$, 其中 μ' 为弹性磁导率,表现为感性; μ'' 为粘性磁导率,表现为阻性且随频率增加而变大。其阻抗可表示为^[8]:

$$Z_s = j\omega L_s + R_s = j\omega L_0(\mu' - j\mu'') \quad (1)$$

$$L_0 = \frac{4 N^2 \times 10^{-9}}{c_1}, c_1 = \frac{2}{H \ln \frac{D_0}{D_1}}$$

式中: ω 为角频率; L_0 为空心电感; c_1 为几何尺寸; H 为铁氧体磁珠长度; D_0, D_1 分别为铁氧体磁珠外径、内径。

由式(1)可看出,铁氧体对干扰的抑制程度不仅与其本身的 μ 值有关,还与其几何尺寸有关,铁氧体部分的体积越大,即磁珠内径越小、外径越大、长度越长,对干扰抑制效果越好。因此,设计时应选用单个磁珠而尽量避免采用串联磁珠。图 6(a), 6(b), 6(c), 6(d) 分别为在电源通道不加装磁珠、加装大体积磁珠、小体积磁珠和串联磁珠的 EFT/B 峰值 1 kV 的差模试验波形。

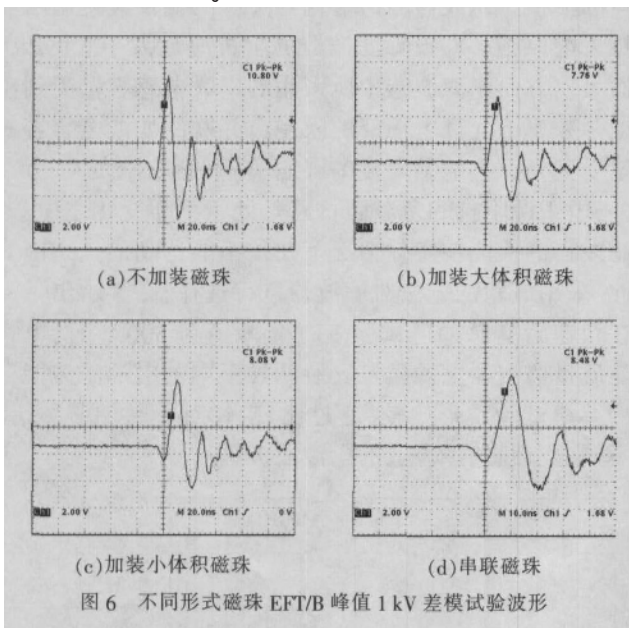


图 6 不同形式磁珠 EFT/B 峰值 1 kV 差模试验波形

3.2 交流量输入端口

智能电器监控单元监测的是交流量电压、电流等电量信号,图 7 示出了信号输入通道前面的前端保护电路。压敏电阻、瞬变电压吸收管(TVS)与电感、电容等通过合适的电路配合使用,对抑制干扰具有很好的效果。

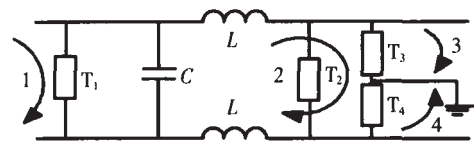


图 7 电量信号输入端口保护电路

在实际使用中,TVS和压敏电阻选用的标称电压值一般分别为保护电压的 1.2~1.4 倍,其中的 T_1, T_2, T_3 和 T_4 是瞬变干扰吸收管,可根据具体情况选用压敏电阻、TVS 或两者的组合。当通道输入端产生差模瞬态干扰时, T_1, T_2 起作用,通过回路 1, 2 吸收瞬变作用,通过回路 3, 4 吸收瞬变干扰。另外,可在 T_3, T_4 后面加上 LC 电路,用来吸收高频干扰^[9]。图 8 为 EFT/B 1 kV 差模试验保护电路前端与后端波形比较,可以看出保护电路对 EFT/B 有很好的抑制作用。

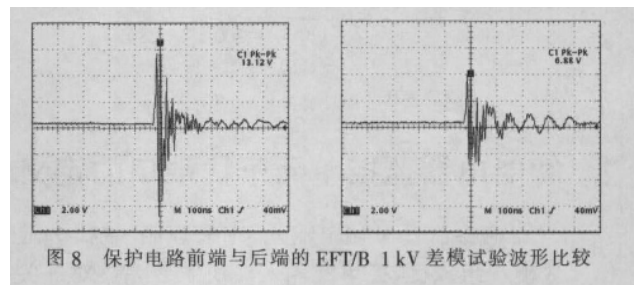


图 8 保护电路前端与后端的 EFT/B 1 kV 差模试验波形比较

3.3 开关量输入端口

开关型现场参量是智能电器监控单元监控的一种典型参量,这种参量本身只有两种状态,如断路器触点的分合、继电器的开闭、脉冲式电度表的输出脉冲有无等,这些信号都需要信号的变换、隔离,才能经由 I/O 通道由 CPU 处理。开关量输入通道的设计见图 9,其中: Z_1 为 18 V 稳压管,将开通门槛电压设置在 18 V,可以抑制低于 18 V 的干扰信号; D_1 用来将负的干扰信号短路掉,保护光耦原边免遭反向击穿; R_5 为光耦原边阳极输入端的下拉电阻,在 K_1 断开状态下,将光耦的阳极拉低,保证开路状态下信号稳定。



图 9 开关量输入通道干扰设计

开关量通道设计的特点是当隔离信号采用的光电管开通和关断时,负载阻抗变化非常大,因此采用滤波器串联的方法减少阻抗变化的影响。源阻抗和负载阻抗可以选择 L 形低通滤波器,而考虑到价格和体积因素,单个滤波器可采用 RC 滤波网络。两级 RC 滤波器的拓扑结构见图 10。L 形 RC 低通滤波器的上限截止频率 $f_h = 1/(2RC)$, 通过调整 R, C 的值选择 f_h , f_h 太大则不能滤除干扰信号,但 f_h 太小又会使有用信号畸变严重。

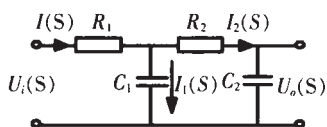


图10 两级RC滤波器的拓扑结构

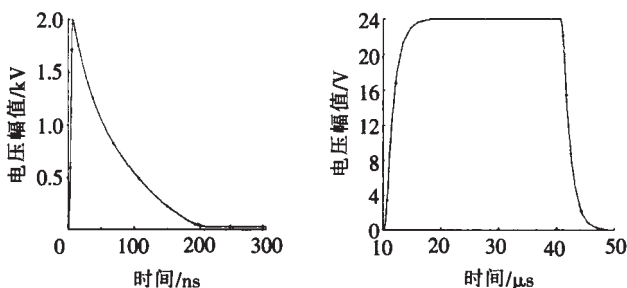
滤波网络传递函数为式(2):

$$A(S) = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 S^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2) S + 1} \quad (2)$$

若增大后级的RC阻抗,对前级造成的负载效应忽略不计,则形成两个独立的网络串连,后级阻抗为式(3):

$$Z_{in} = \sqrt{m^2 R^2 + \frac{m^2}{2C^2}} = m \sqrt{R^2 + \frac{1}{2C^2}} \quad (3)$$

当满足后级的电阻是前级的m倍,电容为前级的1/m时,滤波器衰减40dB/10倍频程。通过仿真可以选择R,C的值,使得干扰信号尽量衰减的同时有用信号不失真。通过这种方法选择的滤波网络可以有效地滤除叠加在有用信号上的干扰信号,波形见图11,图中干扰信号衰减到很小的幅度,而有用信号基本没有失真。最后通过4级EFT/B试验验证了设计的可行性。



(a)单个干扰脉冲 (b)开关量信号

图11 单个干扰脉冲及开关量信号通过滤波网络的波形

3.4 功能接地与通信端口

在接地方面,监控单元采用了浮地-屏蔽接地方式,即模拟信号和数字信号的工作地悬浮,装置外壳机箱屏蔽接地。浮地方式可使监测装置的微机系统不受大地电流的影响,提高了装置的抗干扰性能。装置外壳机箱采用屏蔽接地,无论从电磁感应干扰的角度,还是从人身设备安全的角度,都是十

分有效的措施^[9]。

网络化是智能电器监控单元的发展趋势,远方工作站对其覆盖范围内的网络节点和现场设备进行监控和管理,为了防止监测装置上产生的电磁干扰通过通信网络传到PC机上,装置可采用光纤收发器等实现对网络的光电隔离,目前市场上光纤收发器的价格已可以满足成本要求。

4 结语

智能电器监控单元与所监控的电器设备处于同一电磁空间,很容易受到电器设备开断时所产生的电磁干扰的影响,因此对智能电器监控单元的电快速瞬变脉冲群抗扰度研究有着重要的意义。在监控单元中通过采取上述的相应措施,解决了瞬变脉冲群干扰的问题。实践证明,运用这些方法设计的监控单元已通过国家标准4级EFT/B抗扰度试验,为今后的监控单元的抗干扰设计提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 梁志成,傅静波,李富同,等.微机保护装置的电快速瞬变脉冲群抗扰度研究[J].电力系统自动化,2003,27(11):65-68.
- [2] 程利军,邓慧琼.微机保护抗电快速瞬变脉冲群干扰研究[J].电力系统自动化设备,2002,22(6):5-8.
- [3] 何彬.电力系统二次设备的电磁兼容性问题[J].中国电力,1998,31(4):233-235.
- [4] GB/T 17626.4-1998.电磁兼容 试验与测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[S].1998.
- [5] IEC 1000-4-4. Electromagnetic Compatibility Part 4: Testing and Measurement Technique Section 4: Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test[S]. Switzerland: 1995.
- [6] IEC 60255-26. Measuring Relays and Protection Equipment-part26: Electromagnetic Compatibility Requirements for Measuring Relays and Protection Equipment[S].
- [7] 郭银景,吕文红,唐富华,等.电磁兼容原理及应用教程[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [8] ZHOU Zhongyuan, JIANG Quanxing. A Nalysis of the Effectiveness of Ferrite Core for Improving EFT Immunity[C]// IEEE 2002 3rd International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Beijing, 2002.
- [9] 陈迁,徐国政,关永刚,等.高压开关设备就地监测装置的电磁兼容设计和试验[J].高压电器,2003,38(3):21-23.

(上接第13页)

2005,41(3):176-178.

- [6] 茹科夫 M,科罗捷耶夫 A C,乌柳科夫 A.电弧等离子发生器的物理过程[M].北京:科学出版社,1981.
- [7] 叶齐政,万辉,李劲,等.流量对气液混合两相体电流体放电的影响[J].高电压技术,2002,28(9):42-43.
- [8] Ohkubo T, Hamisaki S, Nomoto Y, et al. The Effect of Corona Wire Heating on the Downstream Ozone Concentration

Profiles in an Air-cleaning Wire-duct Electrostatic Precipitators[J]. IEEE Trans. On IA, 1990, 26(3): 542-549.

- [9] Yehia A, Mizuno A, Takashima K. Corona Characteristics as Influenced by Magnitude and Direction of the Air Flow Rate in Wire-duce Reactor [C]// Industry Application Conference, 2000. Conference Record of the 2000, IEEE, 2000(2): 714-718.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!