

文章编号: 1001-1609(2006)05-0355-03

# 电能质量监测装置的电磁兼容设计和试验

牛 博, 宋政湘, 王建华, 耿英三, 姜文采

(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)

Electromagnetic Compatibility Design and Test for Power Quality Monitor

NIU Bo, SONG Zheng-xiang, WANG Jian-hua, GENG Ying-san, JIANG Wen-cai

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

摘要: 电能质量监测装置是智能电器监控单元的典型代表之一, 介绍了一种电能质量监测装置的电磁兼容设计, 并根据电磁兼容试验中发现的问题, 对设计进行了改进。针对不同端口有关的电磁兼容问题进行了研究。

关键词: 电能质量监测装置; 电磁兼容; 试验

中图分类号: TM595

文献标识码: A

Abstract: Power quality monitor is one of the representatives of digital relay. The design on electromagnetic compatibility of power quality meter is discussed in this paper. According to the problems about the electromagnetic compatibility, the design is improved and the problems in different ports are also studied.

Key words: power quality monitor(PQM); electromagnetic compatibility; test

## 0 引言

以计算机和微电子技术为基础的智能电器监控单元在传统的电器行业中得到日益广泛应用, 其工作的正确性直接影响着电器设备运行的安全可靠。而电器设备电磁环境异常复杂, 在正常和异常运行状态下都会产生各种电磁干扰, 这就对二次设备的抗干扰能力提出了新的要求。本文介绍了智能电器监控单元中的典型产品——电能质量监测器的电磁兼容设计方法, 并根据电磁兼容试验的现象进行了相应地改进。

## 1 电磁兼容试验内容

电能质量监测装置应用于低压智能配电系统, 其电磁兼容试验标准可参照 IEC 609472 规定的低压电器的抗扰度试验项目, 如表 1 所示, 试验的内容主要有电快速瞬变脉冲群、雷击浪涌、高频干扰、静电放电试验以及工频磁场和阻尼振荡磁场试验。

IEC 609472 没有规定具体的判别标准, 而是由产品标准依据产品的不同特点来规定, 并可产品的实际使用条件, 规定比 IEC 609472 较高的试验严酷等级或者增加部分抗扰度试验项目<sup>[1]</sup>。

表 1 EMC 试验- 抗扰度

试验的形式	所要求的实验水平
1.25/50 μs 8/20 μs 浪涌抗扰度试验	2 kV(线对地)
GB/T 17626.5	1 kV(线对线)
电快速瞬变/快速抗扰度试验	2 kV 对电源
GB/T 17626.4	1 kV 对输入/输出
射频电磁场辐射抗扰度试验	10 V/m
GB/T 17626.3	
静电放电抗扰度试验	8 kV/空气放电或 4 kV/接触放电
GB/T 17626.2	

## 2 装置的干扰端口的定义

图 1 为电能质量监测装置的结构示意图。由输入、中央控制、输出和通信四大模块组成。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。

作为一种电力负荷的计量装置, 电能质量监测

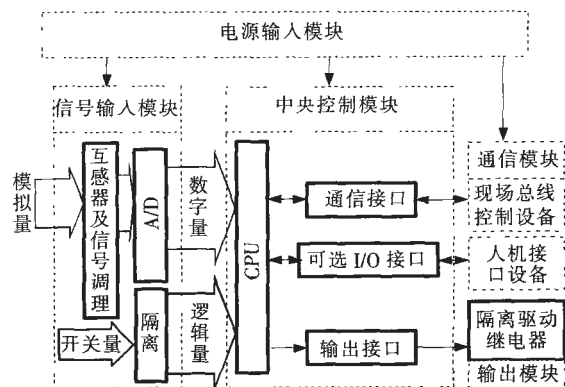


图 1 电能质量监测装置的结构示意图

收稿日期: 2005-11-01

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。

装置的干扰端口定义可参照 IEC TC95 量度继电器和保护设备委员会提出“量度继电器和保护装置的电磁兼容要求(IEC 60255-26)”的提案,把量度继电器和保护装置的端口分为 6 类具体定义如下<sup>[2]</sup>:

- ①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;
- ②外壳端口是装置的物理边界,该端口是电磁场辐射或接收的主要媒介;
- ③功能接地端口是装置连接到大地端口;
- ④输入端口是为了实现某些功能,装置被激励或控制的端口,如,电流、电压互感器,二进制的状态量,模拟量输入等;
- ⑤输出端口是装置实现预定的操作端口,如继电器线圈、光耦、模拟量输出;
- ⑥电源端口为装置的交流/直流辅助激励量输入。

### 3 装置的电磁兼容设计

装置中第一个关键的部件是电源,如果电源的抗干扰能力上不去,则从其他端口耦合的干扰都可以通过电源构成回路。安装电源滤波器,这是任何一个设备或系统满足电磁兼容要求的一个最基本的方法<sup>[3]</sup>。电源滤波器是一种低通滤波器,它允许直流或 50 Hz 工作电流通过,而不允许频率较高的工作电流通过。选择电源滤波器,要考虑它的额定电压、电流,能适应的温度范围,插入损耗,体积大小。在确定滤波器的电流时,要留有至少 50% 的余量,以使滤波器始终工作在最佳状态。滤波器一定要安装在设备离电源入口处最近的地方,滤波器的电源输入线越短越好,滤波器的输入线和输出线不能重叠捆绑。另外,滤波器的外壳一定要良好接地,即良好接到金属机壳上<sup>[4]</sup>。满足了上述的几个条件,滤波器就会发挥它应有的作用,在设备的电磁兼容性上,用好电源滤波器,能起到一半以上的作用。图 2 是在快速瞬变脉冲群试验(EFT/B)峰值为 500 V 时是否安装电源滤波器的差模试验波形比较。另外,装置采用供电的 AC/DC 开关电源输入对地、输出对地和输入对输出的耐压性能为 2 kV(AC),输出之间为 500 V(AC)。这样,开关电源和滤波电路组合在一起,能够很好地抑制浪涌电压和快速瞬变脉冲群。

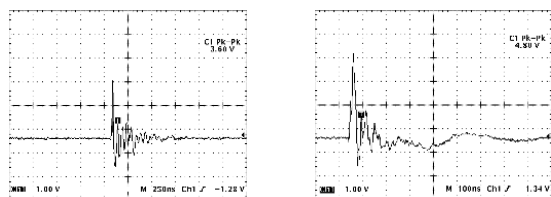


图 2 有无电源滤波器 EFT/B 500V 差模试验波形比较

在电源输入端口加一铁氧体磁珠后,用示波器在输出端观察波形。图 3 对比可看出铁氧体磁珠对 EFT/B 干扰具有较大的抑制作用。另外,在电源输出端口对地加 0.01  $\mu\text{F}$  陶瓷电容器或钽电容器,也可以抑制共模 EFT/B,但效果不如使用铁氧体磁珠。

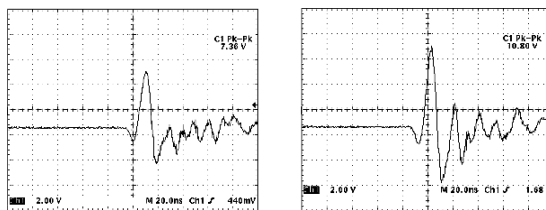


图 3 电源输入端口有无磁珠 EFT/B 峰值 1kV 差模试验波形比较

该装置的主要监测对象是电压、电流等电量。图 4 是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、电容等通过配合使用,对抑制干扰具有很好的效果。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 和 1.4 倍<sup>[5]</sup>。以雷击浪涌电压试验为例,当浪涌电夺产生时,TVS 由于响应速度快首先作用,箝位住浪涌电压的波头,随后 TVS 的箝位电压加上电感 L 上的瞬态电压导致压敏电阻和气体放电管分别起作用,把主要的浪涌能量转移到压敏电阻和气体放电管上,这样的保护电路既有较快的响应速度,又具有较大的电流吸收能力,图 5 浪涌 1kV 输出试验保护电路前端与后端波形比较,从图中看出,浪涌的大部分能量被吸收,并且衰减的速度非常快<sup>[6]</sup>。图 6 为 EFT/B 1kV 差模试验保护电路前端与后端波形比较,保护电路对电快速瞬变脉冲群也有很好的抑制作用。

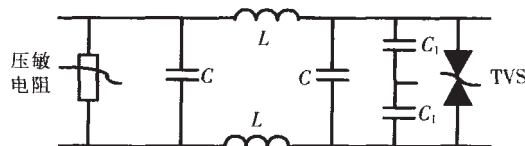


图 4 前端保护电路

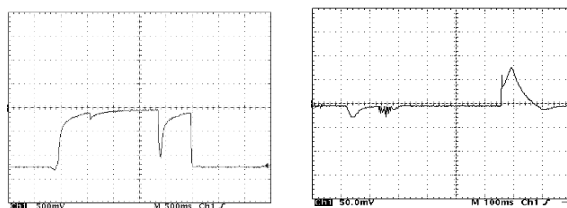


图 5 保护电路前端与后端的浪涌 1kV 输出试验波形比较

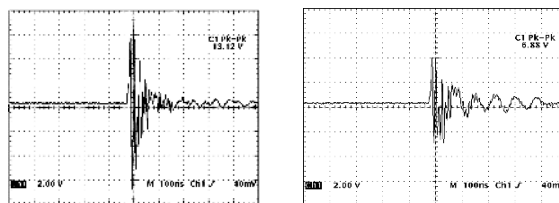


图 6 保护电路前端与后端的 EFT/B 1kV 差模试验波形比较

在接地方面,监测装置采用了浮地-屏蔽接地方式,即把模拟信号和数字信号的工作地悬浮,而对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,无论从防止静电干扰和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<sup>[7]</sup>。

本装置采用的通信总线为 CAN 总线,这种总线和 RS485 总线类似,也是以差分方式传输,因而具有较强的抗共模干扰的能力,长距离通信时为了更加有效地削减共模干扰,所以要求总线隔离<sup>[8]</sup>。其抗浪涌干扰措施见图 7。需要指出的是通信总线的浪涌干扰的开路电压波形具有的波形特征,所以其干扰的频带宽度没有其他端口那样宽,但低频的能量更大。对策主要是隔离各个通信端口,并在每端口加入低频能量吸收回路。需要指出的是此处的保护地指大地。

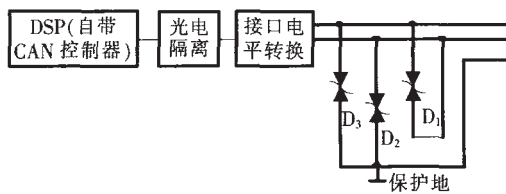


图7 通信部分保护电路

## 4 试验中出现的问题和解决办法

### 4.1 电源供电回路的改进

由于开关电源的输出回路有限,电源输出端的其中几路电压需要同时给多个模块供电,如 ±12 V (DC) 需要给装置的 A/D 采样模块和电压电流传感器供电。由于不同模块采用同一电源回路,模块之间存在相互干扰的现象。试验中,当对其中一个电压传感器的输入端进行高频干扰和浪涌试验时,其供电端同时出现电磁干扰,并通过供电回路传到微机和其它传感器的供电端,造成对它们的影响。虽然持续时间很短,但仍可能干扰微机采样模块的正常工作。对这种相互干扰现象,采用分布式电源供电、两级直流隔离措施也可减少电源端口干扰对内部数字电路的影响。图 8 为改进后的供电回路。

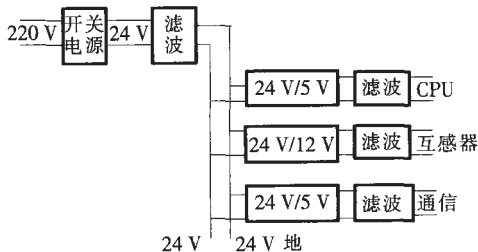


图8 改进后的供电回路

### 4.2 交流量输入端口的改进

电能质量监测装置的交流量输入(电流互感器/电压互感器)电压电流量,电磁干扰也很容易由此进入,其在原理上的等效电路模型见图 9<sup>[9]</sup>。施加干扰时 EFT/B 由端口进入装置,经变流器/变压器原副边的分布电容( $C_1 \sim C_3$ )进入 A/D,再进入 CPU,从而造成监控单元运行出错。这方面在以前的设计中并未考虑,对于这种干扰此解决措施有:尽可能减少

分布电容( $C_1 \sim C_3$ ),可采用双层屏蔽,且屏蔽层分别与一次、二次地相连,良好接地,接地电阻要小;电流互感器/电压互感器端口加入铁氧体磁珠(注意避免磁珠的饱和);电流互感器/电压互感器初级与次级引线应分开,不要交叉,考虑到 EFT/B 的高频分量丰富,可将电流互感器/电压互感器用金属罩屏蔽,以避免对弱电回路的空辐射干扰;在信号输出与 A/D 之间采取滤波措施或隔离电路。

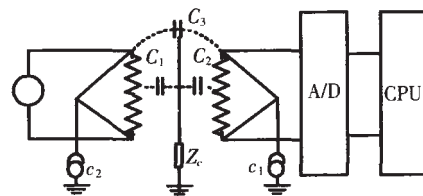


图9 电流/电压互感器回路干扰耦合电路模型

### 4.3 通信模块的改进

电能质量监测系统正在朝着在线监测、实时分析、网络化和智能化的方向发展。远方的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,装置可以采用光纤收发器等实现对网络的光电隔离,光纤通信具有通信容量大、传输数率高、可靠性高、衰减小、不受外界电磁干扰、保密性好、使用寿命长,不易被盗割等特点。最近几年,光纤通信技术日趋成熟,为光纤通信在配网自动化中的广泛应用打下了良好的基础。图 10 为网络光电隔离的一种方案,其中 UTP 为普通网线路,也可以是 RS232, RS485 串口线, E/O, O/E 为光纤收发器,通过光纤收发器、光纤和普通的 HUB 或交换机,监测装置和 PC 机实现了光电隔离,监测装置之间也互不影响。

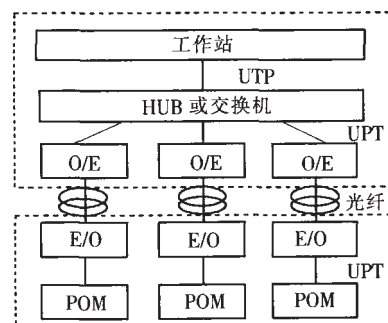


图10 光纤通信结构体系

## 5 结语

通过电磁兼容试验,发现了监测装置原有设计的一些问题。在改进设计的基础上,监测装置通过了各项电磁兼容试验。该电磁兼容设计对其他种类的智能电器监控单元的设计开发具有极大的参考价值。

### 参考文献:

[1] 吴 蔚. 低压电器产品电磁兼容标准及其检测[J]. 低压电器, 2004(9): 54-56. (下转第 361 页)

常有接收不到的情况发生。为了解决这个问题,采取了以下两项措施:

(1) 增大波特率, 缩短发送周期是一个有效的方法。波特率从 2 400 提高到 19 200, 发送周期从 1.2 s 减小到 0.5 s, 通过增加查询次数, 提高通讯成功率。

(2) 采用数据中继的方式。由于某些子站离总站距离比较远, 直接返回的信号比较微弱, 因此采用中继接力的方式非常有效。首先选取距离总站较近, 没有什么通信障碍, 通信状态良好的子站作为中继站, 向其他子站进行信号转发。如图 6 所示, 子站 1 与子站 7 距总站较远, 且障碍较多, 通信状况不是很好, 采用子站 4 作为中继子站, 向子站 1 和 7 进行转发, 通信距离虽然从 117 m 增加到 100+60=160 m, 但是绕过了障碍, 而且信号在每段都得到了增强, 保证了通信的通畅。在实际应用中, 用一个子站作为固定的中继子站是不可靠的, 所以软件在设计中不断统计总站与各个子站的通信成功率, 动态地设置中继子站, 总是把在单位时间里通信成功率最高的子站设置为中继子站。

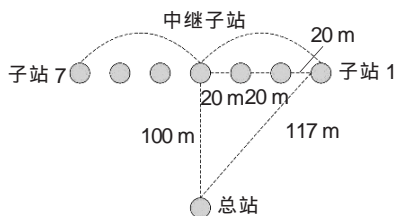


图6 子站中继示意图

软件不仅能遥测温度数据, 而且可以对机构箱内的加热器通过通讯命令字进行投切动作, 实现远程遥控功能。在加热器与电源之间加装一中间继电器, 通过对继电器的开闭实现对加热器的投入、退出控制。一般状态下, 工作子站运行在自动状态下, 单片机根据设定的温度值对加热器进行投切控制, 上位机的手动远方操作为自动运行的备选, 大大提高了系统的灵活性和稳定性。

### 3.2 数据库数据处理模块

该窗口显示历史曲线, 用来查阅历史数据, 分析事故原因等。也可实时显示各子站的温度数据。可以任意放大数据显示界面, 得到各个时刻的温度数据。存储温度数据的数据库有两个, 一个是存储当前实

时数据的数据库 data, 它包含了当前的数据以及 7 天前的历史数据; 一个是存储历史数据的备份库 backup, 它包含了从运行起所有的温度数据。利用 SQL 语言实现数据的插入, 查询, 修改等。软件关闭前, 程序自动备份当前数据到备份库 backup 中, 并检测当前库 data 中的数据是不是超过了 7 天的容量, 如果超过了, 对超期的数据进行删除, 并对 data 数据库进行物理压缩, 保持 data 数据库在一个比较合适的大小。图 7 是现场 2 号主变压器机构箱 5 月 24 日的实际温度曲线。

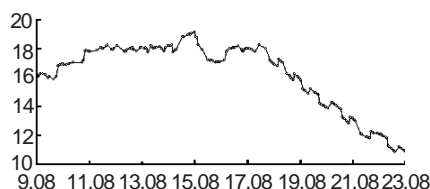


图7 2号主变压器机构箱温度历史曲线

## 4 结语

介绍了一种新型温度监测系统的软硬件无线通讯部分的设计与实现方案, 采取了多种抗干扰方式。该系统不仅局限于温度监测, 结合不同的传感器, 还可对高压断路器进行不同的状态监测, 稍作改动, 也可运用在其他需要做温度监测的电气设备上, 如变压器油温等。经过在现场实地的运行, 达到了预期的效果, 总站与工作子站的通讯稳定可靠, 采集的温度数据也非常准确, 误差不超过 0.5。现已在鸡西市某变电所投入运行。

## 参考文献:

- [1] 胡文平. 高压断路器在线状态监测系统应用 [J]. 诊断技术 2004(3): 30-31.
- [2] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [3] 蒋正义, 朱善安, 韩东. 基于 MSP430 和 nRF401 的无线自动抄表系统 [J]. 电子技术应用, 2004(11): 74-77.
- [4] 杨金岩, 郑应强, 张振仁. 8051 单片机数据传输接口扩展技术与应用实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [5] 冷力宇. 500 kV 变电站电磁兼容问题浅谈 [J]. 江西电力, 2005(3): 4-6.
- [6] 付彬. 利用 nRF-401 实现微机间无线通信 [J]. 世界电子元器件, 2004(11): 50-53.

(上接第 357 页)

- [2] IEC 60255-26. Measuring Relays and Protection Equipment-part26: Electromagnetic Compatibility Requirements for Measuring Relays and Protection Equipment [S].
- [3] 刘晶红. 电磁兼容测试方法及应用设计 [J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(2): 118-120.
- [4] 马宝莆. 微机应用系统可靠性设计理论与实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [5] 白同云, 吕晓德. 电磁兼容设计 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.

- [6] 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, 39(3): 21-23.
- [7] 王幸之, 王雷, 瞿成, 等. 单片机应用系统抗干扰技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.
- [8] 李伟, 朱汉粉, 蓝润泽. 微机保护装置中浪涌干扰的防护 [J]. 电测与仪表, 2002, 39(8): 43-47.
- [9] 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): 65-67.