

电能信息采集终端的抗电快速瞬变脉冲群干扰 研究与设计

肖勇¹, 周尚礼¹, 申妍华², 郑乐江¹

(1. 广东电网公司电力科学研究院, 广东 广州 510600; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510641)

摘要: 电能信息采集终端工作环境中存在严重的电快速脉冲群干扰和辐射信号, 在干扰下容易产生故障。分析了电能信息采集终端的电快速脉冲群信号的产生原因及其对终端设备的影响, 介绍了终端在抗电快速脉冲群干扰方面的要求, 详细阐述了终端各模块单元有效抗电快速脉冲群干扰的具体方法和电路设计, 并举出测试结果及波形图加以验证。

关键词: 电能信息采集终端; 电磁兼容性; 电磁干扰; 电快速脉冲群; 电子电路设计

Analysis and design for electrical fast transient/burst immunity of electric energy acquisition terminal

XIAO Yong¹, ZHOU Shang-li¹, SHEN Yan-hua², ZHENG Le-jiang¹

(1. Guangdong Electric Power Research Institute, Guangzhou 510600, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Electric energy acquisition terminal operates where electrical fast transient/burst (EFT/B) disturbance and electromagnetic radiation very seriously affects the normal performance of the terminal and faults would happen more frequently. In this paper, the causes of source of EFT/B and influences on the electric energy acquisition terminal and the requirements are analyzed. The effective methods for electrical fast transient/burst immunity of each module and the electronic circuit design of the terminal combined the testing results waveform are discussed in detail.

Key words: electric energy acquisition terminal; electromagnetic compatibility (EMC); electromagnetic interference (EMI); electrical fast transient/burst (EFT/B); electronic circuit design

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)17-00102-04

0 引言

近年来, 南方电网公司和广东电网公司非常重视线损“四分”分析系统以及计量自动化系统的建设工作, 电能信息数据的准确采集就成为了最为关键的一环, 电能信息采集终端是现场数据采集和处理的终端设备装置, 广东电网公司目前建设的主要有大客户负荷管理终端、配变监测计量终端、厂站电能遥测量终端以及低压集中抄表终端等。

采集终端是集成电子、通信、计算机、自动化技术为一体的电力自动化装置, 主要工作在变电站、配电变压器附近或配电柜环境中, 且相当一部分安装在室外, 环境非常恶劣, 存在较强的电磁干扰和辐射的影响, 主要干扰辐射有浪涌、振荡波、静电

放电、电快速脉冲群、射频磁场辐射等。终端电磁兼容性(EMC)设计优劣直接决定设备工作可靠性和寿命, 脉冲群信号是导致终端设备的故障的重要原因之一, 电快速脉冲群防护是采集终端设备电磁兼容性设计中最大的难题, 故其合理的设计就显得尤为重要。

1 电能信息采集终端的电快速脉冲群干扰

1.1 电磁兼容性(EMC)与电快速脉冲群(EFT/B)^[1]

电磁兼容性是指设备或系统在电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力, 电子设备的电磁兼容性设计是开发工程师必须考虑的问题。电快速瞬变脉冲群指快速瞬变的一串数量有限的清晰脉冲或一个持续时间有限的振荡。

1.2 电能信息采集终端的电快速脉冲群干扰来源

电能采集终端脉冲群干扰产生原因比较复杂, 经研究分析, 主要原因为: 终端设备挂装在变电站及配电网二次回路上, 与相应一次回路和二次回路的其他设备处于同一电磁空间, 回路系统中电感性负载(如继电器、接触器等)断开时, 开关触点间隙的绝缘击穿或触点弹跳, 导致在断开处产生暂态骚扰信号, 即电快速脉冲干扰信号, 干扰信号可以通过变压器、互感器及空间耦合传递。

1.3 电快速脉冲群信号传播途径

电快速脉冲群对终端的传播途径有终端设备电源线、接地线、信号线等, 除传导干扰外还含有辐射干扰的成分, 大大增加了快速脉冲群防护的难度。

2 电能信息采集终端的抗电快速脉冲群干扰的要求

2.1 电能信息采集终端的构成

电能信息采集终端设备主要完成数据采集存储、数据处理上传、事件告警等功能, 根据广东电网相关技术规范的功能要求, 我们在硬件设计中主要分成电源单元、主控单元、通信模块单元、遥控遥信单元、计量单元、人机接口模块、检测单元等^[2-4]。

2.2 电快速脉冲群干扰对电能信息采集终端的影响

前面已经提及电快速脉冲群信号通过电源线(强电)、状态信号线或 RS485 通信线、无线模块天线等对终端传导或辐射干扰, 从理论和试验经验来讲脉冲群干扰信号可能导致终端出现的故障现象有: 终端 CPU 工作异常、电能计量不准确、RS485 数据采集异常、GPRS/CDMA 无线通信异常、电源部分损坏、液晶显示异常等。即对终端的硬件和软件均可能造成影响。

2.3 电能信息采集终端的抗电快速脉冲群干扰的要求

表 1 采集终端传导电快速脉冲群试验条件

Tab.1 Conductive EFT/B test conditions of acquisition terminal

试验回路	严酷等级	试验电压值 /kV	重复频率/kHz
通信信号线	2	2.0 (耦合)	5
状态信号输入、控制输出回路 (≤60 V)	3	1.0	5
交流电量输入、控制输出回路 (>60 V)	4	2.0	5
电源回路	4	4.0	2.5

根据广东电网公司的相关标准, 要求在电快速脉冲群试验(试验条件如表 1)中电能信息采集终端不能损坏, 数据采集、信息显示不能出现异常, 已存储信息量不能发生变化, 不发生错误遥控动作等^[2-4]。

3 电能信息采集终端的抗电快速脉冲群干扰的设计^[5-8]

3.1 电源回路感性滤波设计

电源回路中脉冲干扰分为共模干扰和差模干扰两种, 针对不同的干扰源应采取不同的处理措施。解决电源回路抗干扰问题, 在设计中采取共模滤波器(图 1)和磁珠(图 2)实现滤波, 阻止干扰信号进入设备。

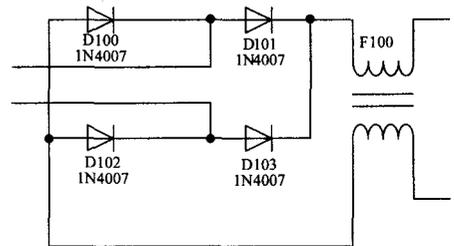


图 1 共模滤波器抗干扰设计图

Fig.1 Common mode filter EMI design

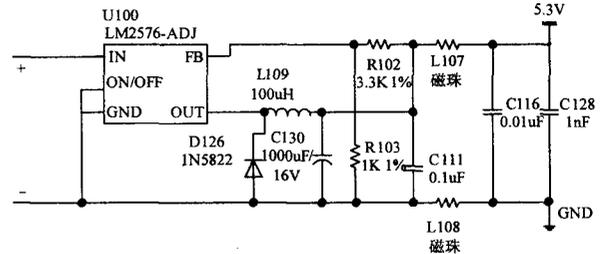


图 2 磁珠抗干扰设计图

Fig.2 Magnetic beads EMI design

图 1 电路中 F100 为共模滤波器, 在共模干扰信号作用下, 两线圈产生的磁通方向相同, 有相互加强的作用, 每一线圈电感值为单独存在时的两倍, 对共模干扰有很强的抑制作用, 而对线路正常传输的差模信号无影响。如图 2 所示, L100, L101 为磁珠、C114 可选陶瓷电容, 三元件电路组成滤波网络, 可以消除差模干扰。磁珠是能量转换(消耗)器件, 用来吸收超高频信号, 因此在稳压电源后加上磁珠来抑制干扰。设计中先选定电容值为 C 、截止频率 f_0 的 C114, 根据公式 $L_1=L_2=1/(8\pi f_0 \cdot C)$, 计算电感值来选择 L100 及 L101。

3.2 电路容性滤波抗干扰设计

设计中采取在电源整流后加上 1 000 μF 以上电解电容可实现工频和低频滤波, 在开关稳压管后加上 1 000 μF 、0.1 μF 、100 pF 的小电容实现低频和高频滤波。如果电源回路使用共模滤波电容, 其容量可参考 EFT 耦合装置使用的容量, 效果非常理想。当要滤除的噪声频率确定时, 可以通过调整电容的容量, 使谐振点刚好落在骚扰频率上。

脉冲干扰的频率往往很高, 采用三端电容利用其一个电极上的两根引线电感构成了 T 型低通滤波器, 来消除了传统电容器中引线电感的不良影响, 提高了高频滤波特性。

3.3 交流采样电路抗干扰设计

对大客户电力负荷管理终端、配变监测计量终端等设备来讲, 交流采样是非常重要的功能。终端设备对电流、电压采样的准确性和精度要求很高, 这样就对交流采样电路的抗脉冲干扰设计提出了严格的要求。

(1) 电流采样回路

如图 3 所示, 在电流回路上串联贴片磁珠 L204、L205 实现高频信号的干扰抑制, 电阻 R230 和电容 C210 来实现阻容滤波, U202 为三端滤波器, 有效提高电流小信号抗干扰性。

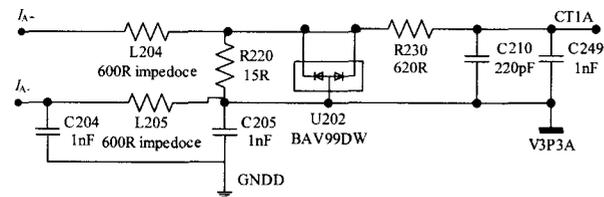


图 3 电流采样电路抗干扰设计

Fig.3 Current sampling circuits EMI design

(2) 电压采样回路

电压信号采样时, 如图 4 所示, 电阻 R231 和电容 C212 构成阻容电路以保证在计量芯片采样输入前完成滤波。

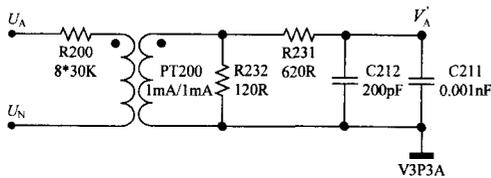


图 4 电压采样电路抗干扰设计

Fig.4 Voltage sampling circuit EMI design

3.4 信号线抑制电快速瞬变脉冲群干扰设计

快速脉冲通过控制/信号线注入干扰, 一般为容

性耦合, 属共模注入方式。在设计时采取以下措施。

(1) 信号电缆屏蔽

终端设备抄读电能表的 RS485 通信线采用带屏蔽的通信电缆线, 达到抑制干扰的效果。

(2) 信号线路上设计共模扼流圈

在信号线上增加共模扼流圈来抑制各种电磁干扰, 保证信号可靠。另外还可以增加共模滤波电容, 尤其是 PCB 板之间的插针、插座相接位置的信号线上增加小容量的 pF 级的电容。

(3) 瞬变二极管 (TVS) 抑制脉冲干扰

TVS 管是一种限压保护器件, 利用器件的非线性特性将过电压钳位到一个较低的电压值对后级电路的保护, 在瞬态骚扰时能有效抑制干扰。

3.5 PCB 板设计

结合经验, 为了抑制电快速瞬变脉冲群干扰, 在终端印刷电路板 (PCB) 电子线路设计和走线中应做好以下几点。

(1) 避免高频干扰: 尽量降低高频信号电磁场的干扰, 也就是所谓的串扰。拉大高速信号线和模拟信号线之间的距离, 同时注意数字地对模拟地的噪声干扰。

(2) 避免高速布线与 EMI 的冲突: 因抗 EMI 所加的电阻电容, 能造成信号的一些电气特性不符合要求。所以, 设计中最好通过走线和 PCB 叠层的技巧来解决或减弱影响, 如高速信号走电路内层。在此基础上再用电阻电容的方式, 以降低对正常信号的影响。

(3) 信号地的设计: 微弱的数字信号 (如无线通信 SIM 卡信号) 极易受到高频信号的干扰, 设计中数字信号地、高频信号地与其他信号地尽量采用单点接地方式, 来避免高频信号通过地传播干扰其他信号。

(4) 良好的铺铜设计。

4 试验与测试结果

采用先进的 HAEFELY 公司电快速瞬变脉冲群测试仪 (PEFT4010 发生器、FP-EFT32.1 去耦网络、测试专用电容耦合夹), 按照 3.3 章节要求, 对上述设计方案的电能信息采集终端进行试验 (如图 5 所示), 终端未出现任何工作异常。

用示波器对终端设备的电源进行波形监测, 图 6、图 7 分别是单个脉冲干扰和脉冲群干扰波形图, 通过传导方式经交流电源输入端对终端设备进行干扰。经过上述抗脉冲群干扰设计, 图 8 是监测到的终端设备主电源的波形图, 可见脉冲群干扰已基本上得到抑制, 波形所示只是小幅度瞬时的变化, 不

会影响终端设备的正常工作。

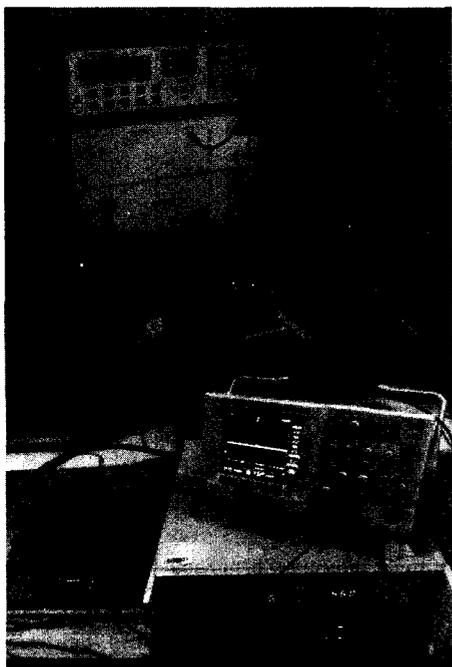


图5 终端的脉冲群试验现场图
Fig.5 EFT/B field test of terminal

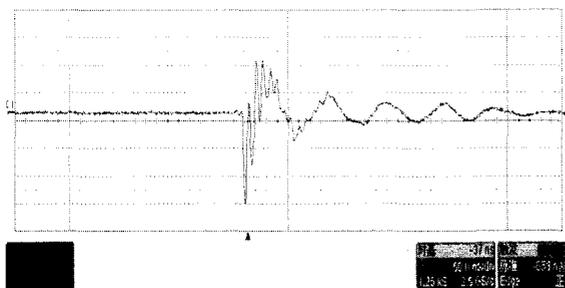


图6 通过电源耦合的单个脉冲干扰波形图
Fig.6 Single pulse interference waveform by power coupling

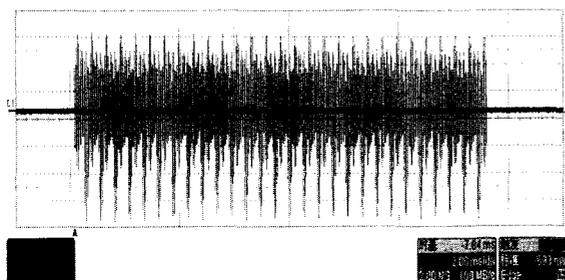


图7 通过电源耦合的脉冲群干扰波形图
Fig.7 EFT/B interference waveform by power coupling

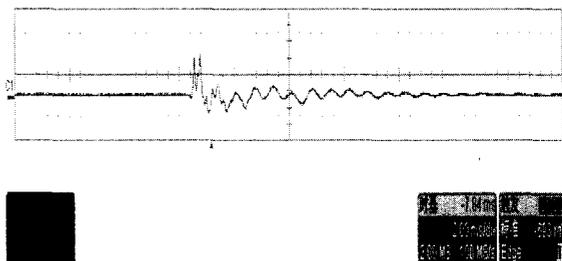


图8 经终端设备抑制后的快速脉冲群干扰波形图
Fig.8 EFT/B interference waveform inhibited by terminal

5 结论

本文从电力系统中电快速脉冲群信号分析出发, 结合笔者多年对电能采集终端研究以及其抗脉冲群干扰测试的经验与理解, 重点介绍了电能采集终端抗干扰的具体设计方法。经测试证明, 终端具有很强的抗电快速脉冲群干扰能力, 运行稳定可靠。其完全满足技术规范和现场运行要求, 为供电部门电能数据监测、线损分析、电能质量分析等提供了数据保障。

参考文献

- [1] 全国无线电干扰标准化技术委员会. GB/T 17626.4-1998, 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
Chinese National Technical Committee for Standardization on Radio Interference. GB/T 17626.4-1998, Electromagnetic Compatibility Testing and Measurement Techniques Electrical Fast Transient/burst Immunity Test[M]. Beijing: China Standard Press, 1999.
- [2] 广东电网公司. Q104-0026-0903-5147, 广东电网公司负荷管理系统技术规范[Z]. 2009.
Guangdong Electric Power Grid. Q104-0026-0903- 5147, Guangdong Electric Power Load Management System technical Specifications[Z], 2009.
- [3] 广东电网公司. Q104-0025-0903-5146, 广东电网公司配变监测计量终端技术规范[Z]. 2009.
Guangdong Electric Power Grid. Q104-0025-0903- 5146, Guangdong Electric Power Distribution Transform Monitor Measurement Terminal Technical Specifications [Z]. 2009.
- [4] 广东电网公司. Q104-0017-0810-1364, 广东电网公司低压电力用户集中抄表系统集中器订货及验收技术条件[Z]. 2008.
Guangdong Electric Power Grid. Q104-0017-0810- 1364, Guangdong Electric Power Concentrated Meter Reading System Concentrator Order and Acceptance Technical Conditions for Low-tension Power Customers [Z]. 2008.

(下转第 131 页 continued on page 131)

5 结论

虽然就单一的事故处理, 厦门变厦梧 II 线的问题得到了圆满的解决, 但从刀闸电弧干扰的课题来说还有很多问题没有解决, 在此也提出几个疑问希望与广大同行讨论交流。

5.1 干扰的传输路径

这种干扰如何在二次回路中产生并传输, 这个问题一直使我们很困惑, 我们始终没能找到一个合理的解释, 有几种假设的可能性也在现场试验中被排除。

1) 一种可能是从一次设备直接通过结合滤波器进入高频电缆。在主接线图上可以看出, 如果干扰量是从刀闸的触头通过一次设备传输到结合滤波器再进入高频电缆的话, 那么这个干扰首先要经过阻波器, 我们知道阻波器的工作频率是 40~500 kHz, 而以上的实验中的主要能量集中段都在这个频率范围内, 并且我们可以确定实验当时厦梧线的阻波器是完好的。所以可以排除干扰量通过一次设备传入高频电缆的可能。

2) 直接通过空间感应进入高频电缆。我们在以上实验时曾经将高频电缆在结合滤波器一侧解开, 同样拉合刀闸, 测试到的干扰量变得非常微弱, 就此也可以排除高频电缆直接感应的可能。

3) 目前我们还无法提出一种可以很好解释并可以验证的干扰传输路径, 所以在预防方面无法从干扰产生及传输上提出可行的方案, 只能被动地在频率选用上避开 110 kHz 频段。

5.2 测试结果的代表性

其他的刀闸操作时对附近设备干扰的幅频特性是不是也和我们这次测试的情况相似。

1) 查阅福建省有关资料, 发现以前也曾经有过类似的载波接口设备烧毁事故, 而且事故设备的频率也是在 110 kHz 左右, 最终也是通过更换保护频率的方法解决问题, 但当时没有进行拍波分析, 所以没有办法比较干扰量是否类似。

2) 福建省 500 kV 宁德变 500 kV 宁双、德龙线的载波通道曾经频繁受到刀闸操作的干扰, 在那次事故调查中, 我们也进行了类似的拍波实验, 测试出来的干扰波形在特征上与以上测试的结果非常相似, 只是宁德变的测试波形, 除了在 50~150 kHz 有集中的分布, 在 300~350 kHz 之间也有一个明显的能量集中频段 (与图 10 相类似)。

3) 由于没有足够多的测试样本, 我们无法确定是否所有刀闸操作的干扰量都有着相类似的特征。但假如是这样, 那么今后我们在选用保护载波通道的频率时是否应在选取范围上适当地进行调整, 以避开容易被干扰的 50~150 kHz 频段。

收稿日期: 2008-09-27; 修回日期: 2008-11-05

作者简介:

郑宁敏 (1976-), 男, 学士, 工程师, 长期从事电力系统继电保护管理工作; E-mail: zhengnm@sina.com

林 匹 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事电力系统调度及变电运行管理工作。

(上接第 105 页 continued from page 105)

[5] 白周云, 吕晓德. 电磁兼容设计[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.

BAI Zhou-yun, Lü Xiao-de. Electromagnetic Compatibility Design[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2001.

[6] 刘萍, 魏东兴, 等. 电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

LIU Ping, WEI Dong-xing, et al. EMI Troubleshooting Techniques[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.

[7] 钱振宇. 3C 认证中的电磁兼容测试与对策[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

QIAN Zhen-yu. Electromagnetic Compatibility Test Technology and Countermeasures of 3C Certification [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

[8] 朱立文. 快速瞬变脉冲群测试的失败原因与对策[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2007, (1): 5-10.

ZHU Li-wen. The Failure Causes and Countermeasures of EFT/B Immunity Test[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2007,(1): 5-10.

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2009-07-15

作者简介:

肖 勇 (1978-), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事电能计量自动化、电能遥测、电磁兼容性技术研究; E-mail: xiao14@sina.com

周尚礼 (1968-), 男, 高级工程师, 主要从事电能计量、高压技术研究与管理工作;

申妍华 (1977-), 男, 讲师, 主要从事微电子器件、集成电路技术研究和教学工作。