

# 一种基于 CPCI 总线的智能故障信息系统子站

王永刚<sup>1,2</sup>, 毛俊<sup>3</sup>, 骆坚强<sup>1</sup>, 胡为进<sup>3</sup>, 王忠民<sup>3</sup>, 涂崎<sup>3</sup>, 章启明<sup>3</sup>

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 上海许继电气有限公司, 上海 200122;  
3. 上海市电力公司调度通信中心, 上海 200122)

**摘要:** 面向智能故障信息系统的新需求, 提出了一种基于 CPCI 总线的嵌入式子站装置设计方案。装置采用插件式结构, 无旋转设备, 扩展方便, 维护成本低, 可完全替代工控机。CPCI 标准工业总线支持不同厂家硬件互换, 用户采购余地大。装置板卡采用模块化设计, 可个别升级, 在保护用户投资的同时可以保证与技术发展同步, 满足智能故障信息系统子站的需要。  
**关键词:** CPCI; 智能; 故障信息系统; 子站; 嵌入式

## A new substation system of the intelligent power fault analyzing & processing system based on CPCI bus

WANG Yong-gang<sup>1,2</sup>, MAO Jun<sup>3</sup>, LUO Jian-qiang<sup>1</sup>, HU Wei-jin<sup>3</sup>, WANG Zhong-min<sup>3</sup>, TU Qi<sup>3</sup>, ZHANG Qi-ming<sup>3</sup>  
(1. XJ Electric CO., LTD, Xuchang 461000, China; 2. Shanghai XJ Electric CO., LTD, Shanghai 200122, China;  
3. Dispatching Center, Shanghai Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

**Abstract:** On analyzing the new demand of the intelligent power fault analyzing & processing system, this paper presents an embedded device based on CPCI bus. The use of plug-in structure, non-rotating components makes the device a perfect substitute for IPC with low maintenance costs. CPCI standard industrial bus brings the device hardware exchange capability between different manufacturers and is convenient for purchases. This device can protect the investment of users and we can upgrade the device by developing new module easily. Test results show this device can fulfill the needs of digital substation.

**Key words:** CPCI; intelligent; power fault analyzing & processing system; substation system; embedded

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)11-0094-05

## 0 引言

智能故障信息系统(以下简称系统)<sup>[1-2]</sup>负责在电网故障时故障信息的采集和分析工作, 为运行调度人员提供准确的故障诊断, 以利于故障的快速处理, 减少故障造成的损失。如图 1 所示, 系统可分为主站、分站和子站的三层结构。其中子站安装在变电站内, 负责数据采集和预处理任务。

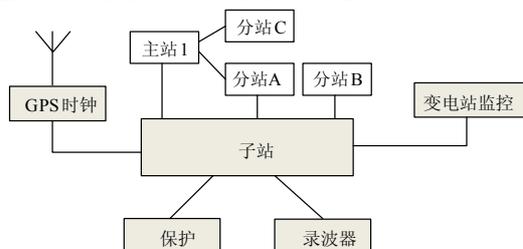


图 1 电网故障信息系统结构图

Fig.1 Scheme of intelligent power fault analyzing & processing system

在分析了智能电网<sup>[3]</sup>对故障信息系统子站(以下简称子站)装置新需求的基础上, 本文提出了一种基于 CPCI 总线的嵌入式装置作为子站的硬件平台, 该硬件平台具有易扩展、功能强、兼容性好等特点, 能满足新一代子站对硬件的要求。

## 1 子站硬件的现状及要求

智能电网的提出对子站提出了更高的要求。智能电网的目标是依靠先进的计算机控制技术, 通过发输配用各个环节将电力精确输送给用户, 提高能源的利用效率和能源供应的安全水平。智能电网要求调度系统对故障具有快速响应能力, 在短时间内得到故障的详细情况, 制定相应的控制决策, 正因如此, 传统的人工处理方式无法满足智能电网的需求。

智能电网技术提高了变电站的观测能力, 子站在故障发生时需要处理的数据量显著提升, 同时智能电网的渐进实施使得子站硬件必须能够兼容传统

装置的接入, 这就需要采用功能强大又可灵活组态的子站硬件以完成变电站层的故障信息采集和智能预处理任务。

数字化变电站是实现智能电网的基础, 其遵循的新一代通信标准 IEC61850 指出变电站内的装置应满足互操作性, 并最终实现不同厂家装置具备互换性。目前变电站内的硬件装置分为两大类: 一类是工控机 (IPC), 另一类是各厂家自行开发的装置。这两类装置都无法完全满足智能电网对子站硬件的要求, 这体现在以下几个方面:

1) 工控机存在着功耗大、扩展困难、旋转配件易损耗等缺点。而各厂家自行开发的装置虽然多数采用了总线技术并以插件形式使装置具备了一定的扩展性, 但厂家自定义的背板总线和插件没有遵循相同的国际标准, 限制了各个厂家装置之间的通用性, 装置无法做到插件级互换。

2) 变电站内不同的硬件造成了变电站工程实施的复杂性。由于硬件原理和操作方法差别大, 在变电站施工以及维护过程中用户必须熟悉不同厂家不同型号装置的硬件配置方法和性能指标, 这增加了施工难度, 提高了出错概率, 降低了可靠性。

3) 变电站内厂家自开发装置软件和硬件关联程度高, 造成软件硬件分离困难。用户只能从少数几个行业厂家采购硬件, 不仅采购成本高, 而且无法选购非行业厂家生产的先进技术设备, 硬件升级缓慢, 不能适应智能电网时代对大数据量、高可靠等不断增长的需要。

4) 在电力技术发展的过程中, 新老装置并存的局面将长期存在, 对硬件的性能改进和新功能开发也将持续进行。由于工控机和厂家自定义装置硬件接口固定, 扩展能力较差, 因此在升级过程中经常整体更换, 这增加了用户成本而且容易造成装置工作不稳定。

## 2 CPCI 技术介绍<sup>[4-7]</sup>

Compact PCI (Compact Peripheral Component Interconnect, CPCI), 是 PCI 国际工业计算机制造商联合会 (PCI Industrial Computer Manufacturer's Group, PICMG) 于 1994 提出的一种总线接口标准, 是以 PCI 电气规范为标准的高性能工业用总线。一个 CPCI 系统由一个或多个 CPCI 总线段组成。每个总线段又由 8 个 CPCI 插槽组成 (33 MHz 情况), 每个 CPCI 总线段包括一个系统槽和最多 7 个外围设备槽。图 2 给出了一个 33 MHz 的 CPCI 总线段结构图。

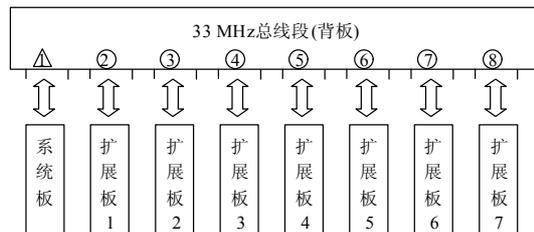


图 2 一个 CPCI 总线段结构图

Fig.2 Structure of one CPCI bus segment

与 IPC 相比, CPCI 系统具有明显的优势:

1) CPCI 系统采用欧洲卡结构, 具有较好的散热性能和抗振动冲击能力。CPCI 板卡上的 ESD (Electro-Static Discharge) 静电导出条可以满足电磁兼容性要求。同时 CPCI 总线标准定义的冗余设计、故障切换和故障管理等内容, 非常符合 IEC61850 标准中系统的可扩展性、高可靠性要求, 和 IEC61850 的模块化概念吻合。

2) CPCI 系统以针孔连接器代替金手指, CPCI 卡通过连接器固定在背板上, 顶端和底部均有导轨支持, 即使在剧烈的冲击和震动场合, 也能保证持久连接而不会接触不良。安装、更换 CPCI 板卡非常简单。此外, CPCI 系统引脚长短交错以支持热插拔功能。

3) CPCI 系统具有足够的带宽, 如 PICMG 2.x 版本在 64 位/66 M 总线接口下能提供每秒高达 512 MB 的带宽, 而 PICMG 3.0 版本总线速度可达每秒 2 Tb 以上。

4) CPCI 系统充分考虑了向后兼容性。CPCI 系统的 CPU 及外设同标准 PCI 是相同的, 并且使用了与 PCI 系统相同的芯片和软件。PCI 和 CPCI 本质上是一致的, 操作系统、驱动和应用程序都感觉不到两者的区别, 这减轻了各种 PCI 板卡的开发和移植工作量。

正因为具备以上特点, CPCI 技术广泛应用在军事、航空航天、高速数据通信等需要高速运算以及具有高可靠度要求的应用领域。

## 3 子站 CPCI 装置的结构

通过以上介绍, CPCI 系统在电磁兼容、总线速率、可靠性和可扩展性等方面都适合于智能电网对子站硬件的需求。图 3 给出了采用 CPCI 总线技术的子站装置结构图。

### 3.1 系统板

装置的系统板可根据变电站规模、对功耗的要求等灵活选择 X86 架构的或 PPC 架构的 CPU。配合适当的内存和接口, 可以满足子站对数据处理的

要求。

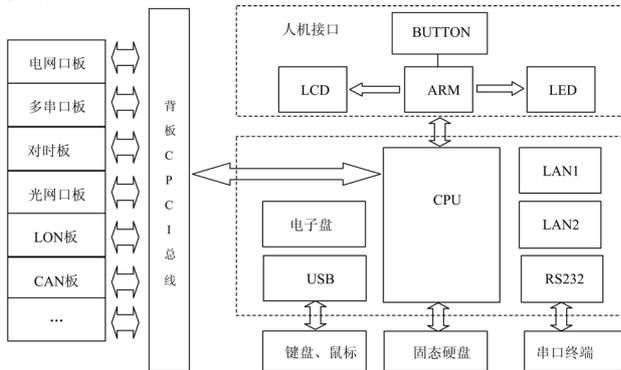


图3 采用CPCI总线的子站硬件结构图

Fig.3 Structure of substation system based on CPCI BUS

本文装置的系统板采用 Pentium M 1G CISC CPU，带 32 K 一级缓存，512 K 二级缓存，前端数据总线速度 266/333 MHz。采用无风扇表贴散热片散热结构，消除风扇故障的风险。系统板使用板载表贴内存 512 M，比以往的卡式内存降低了接口风险，提高系统可靠性。另外系统板上提供普通 IPC 标准配置中的所有接口，如 VGA、LAN、USB、RS232 等，通用性好，能够像普通 IPC 一样使用，操作人员上手快，维护简便。系统板占用系统槽的 J1、J2 接口，可以从后 IO 扩展所需的接口，本装置使用 J2 扩展人机接口。系统板安装了电子盘作为系统启动盘兼数据存储，也可选装固态硬盘作为数据存储后备。此外，系统板具有 2 个 100 M 或 1 000 M 的以太网口用于接入主站或接入站内的装置。

### 3.2 网口板

根据图 1，子站运行时与多个分站或主站通信，把故障信息上送给调度人员并接受主站下发的查询命令。同时子站还要与变电站内的保护、录波器相连，采集需要的信息。一般情况下，分站、主站以及变电站内的装置分处不同的网段，因此需要子站硬件具备多网口通信能力。

本文装置设计的电网口板一个可扩展 4 个网口，采用 4 片 Intel82551 作为网络通信芯片，分别连接 4 个 10/100 Mb 自适应网口，自动识别交叉或直连线，该芯片支持多优先级传输队列和 VLAN，可以满足 IEC61850 对虚拟网的要求。芯片采用 BGA 封装有利于散热。网口板上的 4 片 82551 通过 PCI-PCI 桥芯片连接到背板总线。

为了适应数字化变电站对光网口的需求，本文装置还配备光网口板，每个光网口板包含 3 个光网口，采用 Intel82551 与 DM9301 配合实现光网接入任务。

### 3.3 Gps 对时板

数字化变电站中的带时标数据通过以太网以数字方式传输，站内装置对时是非常重要的。子站属于变电站通信逻辑的间隔层，应该执行与保护和控制事件用时间同步要求。根据文献[8]，T1 时间性能类的精度要达到 1 ms，而 T2 时间功能类的对时精度要达到 0.1 ms。

Gps 对时板能接收来自 TTL/RS485/AC 电气形式的 IRIG-B 码时钟信号，通过智能解码，校对系统时间。对时卡采用现场可编程门阵列（FPGA）进行解码，FPGA 具有逻辑单元灵活、集成度高、能随意添加和扩展功能模块、编程简单、升级方便等优点，对于 IRIG-B 解码仅用简单逻辑电路就可以完成，FPGA 采用并行流程解码，速度能达到 100 MHz。板卡还增加了时间自动修正功能，其对时精度达 T3 级以上，能完全满足数字化变电站对子站对时 T2 级精度的要求。

### 3.4 串口板

在对传统变电站的数字化改造过程中，站内存在大量传统的装置，这些装置很多并不具备以太网通信能力，而是通过串口输出信息的。为了接入这些装置，子站需要具备串口通信能力，串口板就是负责完成这一任务的。

对比工控机扩展串口时使用 IO 访问方式的 UART，由于其工作方式是查询发送接收，进入发送接收进程时 CPU 会处于等待状态，因而 CPU 占用高，影响系统整体性能。本文装置使用 PCI 总线芯片扩展串口，含有比以往串口芯片多 3 倍的 FIFO。通过中断方式发送接收，发送数据后释放 CPU，降低了 CPU 占用率，经过实际测试，同时以 9 600 波特率向一个板卡上 8 个串口发送 1 Mbytes 大小的文件，装置接收并显示接收内容，CPU 占用资源小于 1%。

每个串口板采用标准 CPCI 接口与母板连接，能够很方便灵活地在任意槽位任意扩展串口板。通过在软件上修改底层串口驱动并辅以跳针，串口板上的任意一个串口都能够独立地切换成 RS232/RS485 通信方式，提高了串口板的适应能力。

### 3.5 人机接口

本子站装置设计了人机接口板，负责前面板装置指示灯的显示。同时为了满足用户需求的差异，人机接口板还可接入液晶显示器和按键，以实现信息的直接查询，如查询修改其他装置 IP 地址、查询其他装置当前事件、查询与其他装置通信状态等。

人机接口使用 ARM7 芯片作为 CPU，内嵌小型

实时系统 UCOS-II, 人机接口板与系统板通过串口通信获取需要的信息。人机交互面板隔离芯片和静电释放电路, 保障系统的安全运行。

### 3.6 存储

配合子站的存储要求, 本文装置可扩展固态硬盘作为数据后备, 硬盘同样以板卡形式插接, 方便用户更换。

子站装置可根据需要采用不同的操作系统, 如 Linux、Windows、VxWorks 等, 本文装置采用 Linux 操作系统, 精简高效, 同时提供串口终端供调试用。此外, 为适应各种不同的变电站, 本文装置还专门开发了可接入 CAN 总线、LAN 总线等的扩展板。

## 4 装置性能测试

为了测试装置性能, 针对子站可能遇到的情况进行了充分的测试, 限于篇幅, 现将对总线通信能力要求最高的网口板的测试情况说明如下。

以太网口是挂载在 CPCI 总线上的设备。设 33 MHz CPCI 总线能够挂载网口数目为  $N$ 。由于装置扩展的其他设备如 CPCI 串口卡、IDE 存储设备等也会占用总线带宽, 设这部分设备总共占用总线 2 M 带宽, 则

$$100 M \times N = (33 M - 2 M) \times 32 \quad (1)$$

可得  $N \approx 10$ 。即理论上 33 MHz CPCI 总线可承载 10 个 100 M 网口同时进行最大容量数据传输。需要注意的是, 网络数据传输速度不仅与总线类型相关, 而且与系统板资源及芯片类型、网口板芯片类型等都有密切关系。为降低生产成本, 本文装置采用中档系统板。

对图 1 所示子站, 其既要与变电站内的装置通信, 又要与各级调度中心的主站和分站通信。根据实际工程经验, 子站配置 6 个网口即可满足需求, 其中 2~3 个用于子站与变电站内的装置通信, 2~3 个用于子站与各级分站和主站通信。子站与变电站内装置相连的网口一般为 10 M/100 M 自适应, 而子站与主站和分站相连的网口数据传送速率较小,

一般为 2 M。作为准实时系统, 子站装置各个网口不会同时达到最大数据传输速率, 实际应用中对于站的网络传输速率要求并不如测试条件极端。

测试模拟现场设备与子站装置通信网口之间进行点对点通信, 对被测子站装置的多个网口测试其满负荷工作时的吞吐量和系统开销。测试端在两台多网口的 dell 服务器上运行专业软件 IxChariot, 子站装置运行对端软件 endpoint 和 cpu 占用率检测程序 top。测试端运行测试脚本, 使用 TCP 协议每次传输交易向所测试网口发送 10 MB 数据包, 测试 100 次。

测试针对几种典型的子站应用情况, 表 1 和图 5、图 6 给出了在 2 网口、4 网口、6 网口、8 网口满负荷情况下的网络传输吞吐量与 CPU 占用率曲线。

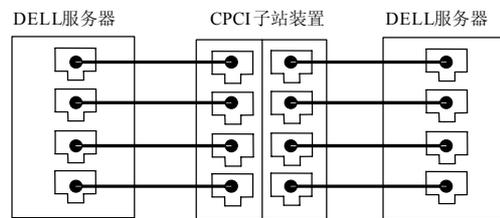


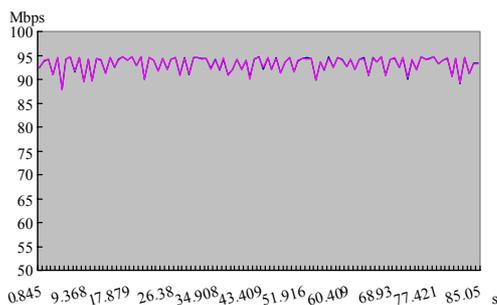
图 4 网络测试接线图

Fig.4 Structure of network test

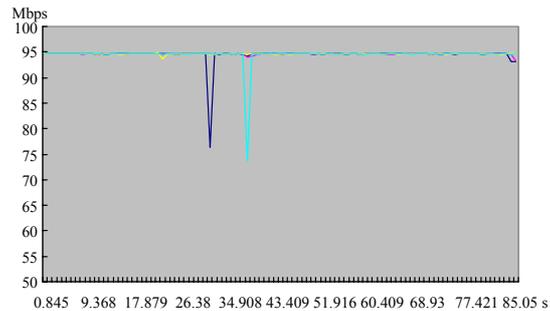
表 1 网络平均速度测试结果

Tab.1 Network average speed in network test Mbps

网口序号	2 网口	4 网口	6 网口	8 网口
LAN1	93.133	94.445	93.046	82.260
LAN2	93.128	94.664	92.959	83.705
LAN3	—	94.653	92.371	84.297
LAN4	—	94.401	93.036	85.066
LAN5	—	—	92.366	85.736
LAN6	—	—	92.671	87.606
LAN7	—	—	—	84.278
LAN8	—	—	—	84.703



(a) 2网口吞吐量曲线图



(b) 4网口吞吐量曲线图

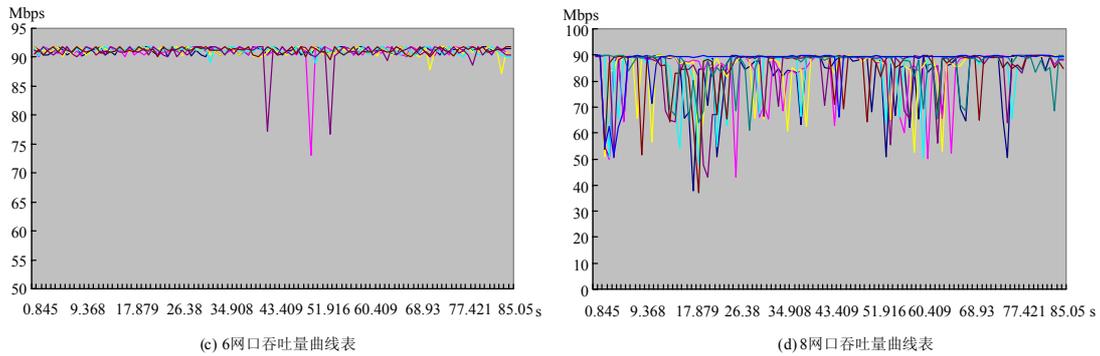


图 5 网口吞吐量

Fig.5 Throughput curves in network test

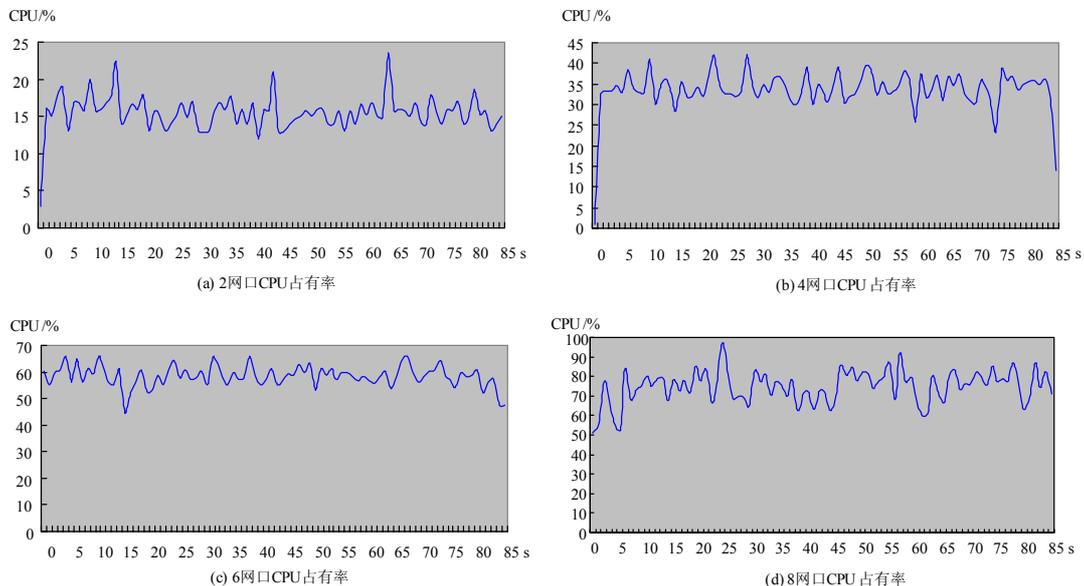


图 6 网口测试中 CPU 占用率

Fig.6 CPU consumption curves in network test

从测试结果看，子站装置可以 6 个网口同时进行满负荷数据传输。但在 8 网口试图同时满负荷数据传输时，由于系统资源消耗已达极限，吞吐量曲线一致性变差，网络速度下降。综合起来，本文装置完全可以满足子站对网络数据传输的需求。

从测试结果还可看出，本文设计的以太网卡使用芯片是采用 NAPI 方式处理的网络芯片，能够缓解老式以太网芯片（如 8139）通信消耗 CPU 资源的矛盾。图 6 中对网口的测试表明以 100 M 速率存取数据时 CPU 占用率仍较低，平均每个网口仅 10% 左右，相比老式网络芯片通信 CPU 占用率最大可达 30%，性能提高两倍多。

### 5 结论

电力系统智能化的发展对装置硬件提出了更

高的要求，具备采购方便、配置灵活、升级迅速、工程维护成本低、具备可互换性等特点的装置硬件是未来发展方向。本文提出的基于 CPCI 的嵌入式硬件平台不仅可应用于故障信息系统子站，也可以全面替换变电站中的工控机。对装置的实验结果验证了装置的传输速率、处理速度等性能指标。

### 参考文献

[1] 倪益民, 丁杰, 等. 电网继电保护及故障信息管理系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(17): 86-88.  
 NI Yi-min, DING Jie, et al. PFS3000 protective and fault information management system of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(17): 86-88.

(下转第 120 页 continued on page 120)

间为 39 ms。在测试空载状态手合故障线路动作时间时，以单相为例，限时速断动作时间整定为最小值 40 ms，测定保护系统最小动作时间为 114 ms。表 1 为保护动作时间数据。

在电流互感器的测试线圈加测试电流，得到保护动作值测试数据，如表 2 示。电流互感器的一次侧线圈、测试线圈、保护线圈的匝数比为 0.26:1:50。表 2 数据表明所有保护的相对误差都小于 5%。

### 5 结论

本文设计了自供电过电流保护继电器，实现了限时电流速断保护、定时限过电流保护、反时限过电流保护、定时限接地电流保护等继电保护功能，具有可靠性高、免维护、参数整定简单、体积小、节约建设成本等优点，适应性强，应用广泛。

### 参考文献

[1] 葛耀中. 继电保护技术的新进展[J]. 继电器, 1998, 26 (1): 1-7.  
 GE Yao-zhong. New development of protective relaying[J]. Relay, 1998, 26 (1): 1-7.

[2] 杨奇迹. 微型机继电保护基础[M]. 北京: 水利水电出版社, 1988.  
 YANG Qi-xun. The basis of microcomputer relay protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 1988.

[3] 景胜. 我国微机保护的现状与发展[J]. 继电器, 2001, 29 (10): 1-4.  
 JING Sheng. Development and current situation of microcomputer protection[J]. Relay, 2001, 29 (10): 1-4.

[4] 杨新民, 杨隽琳. 电力系统微机保护培训教材[M]. 北

京: 中国电力出版社, 2008.  
 YANG Xin-min, YANG Jun-lin. Training Materials of Microprocessor-based Protection for Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.

[5] 陈洁, 何志勤, 叶青. 微机保护中滤除衰减直流分量的全周波傅氏算法的仿真比较分析[J]. 继电器, 2007, 35 (6): 16-20.  
 CHEN Jie, HE Zhi-qin, YE Qing. Simulation and analysis of full-cycle Fourier algorithm for removing decaying DC component in microprocessor-based protection[J]. Relay, 2007, 35 (6): 16-20.

[6] 牟龙华, 金敏. 微机保护傅里叶算法分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (6): 91-93.  
 MU Long-hua, JIN Min. Analysis of fourier algorithm in microcomputer-based protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (6): 91-93.

[7] 黎鹏. 基于数字信号处理器的小电流接地选线装置的研究[D]. 北京: 华北电力大学.  
 LI Peng. Study of the fault-line selection instrument based on DSP for single-phase-to-earth fault on non-direct-ground neutral system[D]. Beijing: North China Electric Power University.

收稿日期: 2009-07-15; 修回日期: 2009-09-30

#### 作者简介:

徐志坚 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式系统开发及应用; E-mail: xuzhj07@lzu.cn  
 刘映杰 (1964-), 男, 副教授, 研究方向为现代电路理论及其应用、嵌入式系统开发及应用、实时信号处理与 DSP 实现等;  
 王新 (1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为实时信号处理与 DSP 实现。

(上接第 98 页 continued from page 98)

[2] 何鸣, 王皓, 谢红福. 基于数据中心的故障信息管理系统[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (18): 104-107.  
 HE Ming, WANG Hao, XIE Hong-fu. A fault information system based on data centre[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (18): 104-107.

[3] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33 (8): 1-6.  
 CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 1-6.

[4] PICMG 2.0R3 CompactPCI规范 (PICMG) [Z]. PCI工业计算机制造商组织 1999.

[5] PICMG 2.10R1.0 CompactPCI 板和底版的定位键规范 (PICMG) [Z]. PCI工业计算机制造商组织 1999. 10. 01.

[6] PICMG 2.9R1.0 CompactPCI 系统管理规范 (PICMG) [Z]. PCI工业计算机制造商组织, 2000.

[7] PICMG 2.1R2.0 CompactPCI 热切换规范 (PICMG) [Z]. PCI工业计算机制造商组织, 2001.

[8] DL/T 860.5—2006/IEC 6185-5: 2003 变电站通信网络和系统: 第 5 部分: 功能的通信要求和装置选型[S].

收稿日期: 2009-07-14; 修回日期: 2009-09-23

#### 作者简介:

王永刚 (1969-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为变电站自动化、EMS、电力系统优化; E-mail: wangyonggang@xjgc.com  
 毛俊 (1964-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电网继电保护;  
 骆坚强 (1977-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为水电自动化、变电站自动化。