

# 数字化技术在 220 kV 变电站改造中的应用

谷成, 徐超, 谢珂, 陆伟

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** 阐述了数字化变电站综合自动化系统的原理结构, 介绍了数字化技术在 220 kV 变电站改造中智能单元、GOOSE、过程层合并单元采样、站控层光缆中的应用等。结合实例分析了改造中遇到的包括光电电压互感器、公用设备、光纤的使用、电压的并列与切换、间隔层联锁、运行维护等问题, 提出了使用电压互感器采集单元、母线保护子站、GOOSE 软件、光纤的标示等解决的方法。

**关键词:** 数字化变电站; 技术改造; GOOSE

## Application of digital technology in the innovation of 220 kV substation

GU Cheng, XU Chao, XIE Ke, LU Wei

(Nanjing NARI-Relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** This paper introduces the theoretical structure of digital substation integrated system. The application of digital technology in the innovation of 220 kV substation is introduced, including intelligent unit, GOOSE, merging unit, optical cable, etc. The resolutions on the problem encountered are analyzed based on real examples, such as OVT, public equipment, using of fiber-optic, side by side and switch of voltage, interlocking within or between bays, operation and maintenance. Measures are proposed, such as sampling unit of OVT, subdevice of busbar protection, GOOSE software, label of fiber-optic, etc.

**Key words:** digitized substation; technology transform; GOOSE

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)22-0214-06

## 0 引言

随着计算机技术的日新月异, 电力技术的不断创新, 智能化一次设备、网络化二次设备的发展, 特别是光电式互感器、智能化开关等一体化设备的研发, 变电站自动化面临着前所未有的发展机遇。智能电网建设的提出, 也使基于 IEC 61850 标准的数字化变电站日显其重要。非数字化变电站改造成为当前电网建设中亟待解决的问题。

本文以广东中山 220 kV 三乡变电站改造为例, 介绍了新技术的应用, 讨论了数字化变电站改造过程中存在的问题, 给出了解决方法。实践证明: 所采用的方法行之有效, 切实可行, 其经验可供其他数字化变电站改造借鉴。

## 1 概述

数字化变电站是指变电站自动化系统采用 IEC 61850 国际标准, 信息采集、传输、处理、输出过程全部数字化。其基本特征为设备智能化、通信网

络化、模型和通信协议统一化、运行管理自动化。IEC 61850 国际标准规范了数据的命名、数据定义、设备行为、设备的自描述特征和通用配置语言, 不仅规范保护测控装置的模型和通信接口, 而且定义了光电式 CT、PT、智能开关等一次设备的模型和通信接口。该国际标准已不是一个单纯的通信规约, 而是构建数字化变电站自动化系统的标准, 指导并应用于变电站自动化的设计、开发、工程、维护等各个领域<sup>[1]</sup>。

在我国, 提出了建设坚强智能电网的要求。数字化变电站是构成智能电网的一个重要组成部分, 该如何建设成为摆在我们面前的一个问题。而大量老旧变电站如何实现数字化, 更是需要研究解决。为此以广东中山 220 kV 三乡变电站作为试点, 研究解决 220 kV 变电站数字化的改造问题。

220 kV 三乡变电站是 1991 年建成投产的一座重要枢纽变电站, 现运行 3 台主变, 一次接线分为 220 kV、110 kV、10 kV 3 个电压等级。220 kV 与 110 kV 都采用双母线带旁路接线方式, 220 kV 出线

共 6 回, 110 kV 出线共 7 回, 10 kV 采用单母线分段接线, 共有 5 段母线, 出线共 41 回, 该站的 220 kV、110 kV 一次设备都为敞开式设备, 10 kV 断路器全部为小车开关, 改造前全站控制方式为常规控制屏方式。

220 kV 三乡变电站数字化改造分为两个阶段。第一个阶段是低压 10 kV 部分数字化改造。第二个阶段是对 220 kV、110 kV、3 台主变所有间隔的改造。在整个改造过程中, 按照 IEC 61850 标准体系对站内各保护、安稳、故障录波、二次公用设备以及计量设备进行改造, 新设一套图像监视及安全警卫系统, 建成了一套符合 IEC 61850 标准的数字化变电站自动化系统。三乡数字化变电站实现了一次设备数字化、二次装置网络化和数据平台标准化, 成为智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站, 具有示范意义。其结构图如图 1 所示。

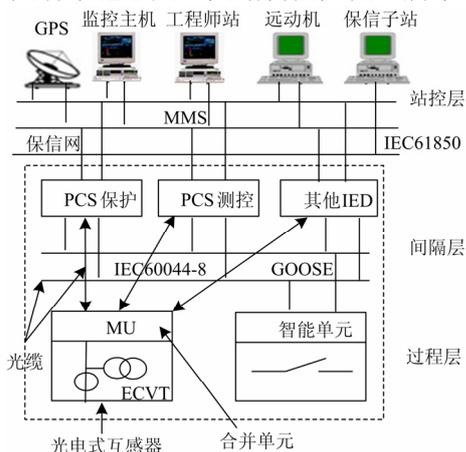


图 1 数字化变电站结构图

Fig.1 Digital substation architecture

## 2 系统结构介绍

三乡数字化变电站系统结构整体上分为三层：站控层、间隔层和过程层。系统网络结构采用如下方案：间隔层各间隔组建各自网络，过程层设备、间隔层设备、站控层设备以 IEC 61850 标准组建以太网，网络化程度高，间隔层设备之间的开入、闭锁、跳闸、录波等信号通过 GOOSE 网传递。整个系统体现了：数据采集数字化、系统分层分布化、系统结构紧凑化、系统建模标准化、信息交互网络化、信息应用集成化、设备检修状态化、设备操作智能化等技术特征<sup>[2]</sup>。

### 2.1 过程层

过程层是一次设备与二次设备的结合部分, 是整个数字化变电站改造重点。在改造中, 用光电式

互感器替代传统的电磁式互感器, 智能终端安装于一次设备旁, 以光纤数字通信替代传统接点、二次电缆。

#### 2.1.1 光电式互感器

根据 IEC 60044-8 的规定, 光电式互感器输出可为模拟信号<sup>[3]</sup>, 10 kV 的保护测控装置安装在开关柜上时, 互感器离间隔级设备很近, 再用数字化转换完全没有必要, 故可以将远端模块输出的模拟信号直接接入二次设备。因不需要合并单元, 所以其互感器和二次装置的配置和传统方式一样。110 kV 及以上互感器采用光电式互感器, 互感器由低功率铁芯线圈、空芯线圈、电容/电感分压器和数字变换器等部分组成, 通过采集器转换成数字信号经光缆传输, 互感器的输出为数字光信号, 其原理是利用低功率铁芯线圈 (LPCT) 传感测量级电流, 利用空芯线圈传感保护级电流, 利用电容/电感分压器传感被测电压 (光电电流互感器在额定电流下数字量输出保护电流为 150 mV, 测量电流为 1.5 V, 光电电压互感器在额定电压下数字量输出为 1.5 V)。

#### 2.1.2 合并单元

合并单元是联系光电式互感器和网络化二次设备之间的设备, 用于对来自传感模块的各相电流电压信号进行时间相关性 (同步) 组合, 并提供给二次设备使用。合并单元具备各相电流电压的采样同步控制。传感模块到合并单元之间用光纤连接, 合并单元到各二次设备之间采用光纤点对点串行通信, 传送采样数据传输采用 IEC 60044-8 串行 FT3 协议传输, 可不依赖于同步信号而工作。与互感器相配套的合并单元同步处理电流电压采样的数字信号, 输入输出路数可根据不同的应用情况灵活配置。合并单元同时考虑模拟量输入输出模块, 如主变套管 CT, 中性线 CT, 间隙 CT, 主变低压侧 CT 等需要模拟量接入合并单元后转换成数字信号。光电式互感器如图 2 所示。

#### 2.1.3 智能终端

由于目前国内没有具备完全意义上的提供数字接口的智能开关, 220 kV、110 kV 户外开关为原有常规设备, 智能化开关改造方案采用传统开关设备与智能终端相结合的方式来实现。智能终端下放到高压场断路器和刀闸机构旁的智能就地柜内, 智能终端功能是与间隔层设备 (保护、测控、录波装置等) 使用光缆按电压等级组成 GOOSE 网传递数字信号信息, 如二次设备通过智能终端发送分合闸命令给开关和刀闸, 实现保护跳闸、重合闸或开关刀闸的遥控。同时实现采集断路器刀闸的分合位、SF6 气体总闭锁信号等等。高压场内各设备控制电缆接

至智能就地柜内的智能终端单元。此方式的优点是基于成熟的 GOOSE 技术，能减少大量电缆，节约用地，提高数字化同时，满足可靠性与稳定性的要求。

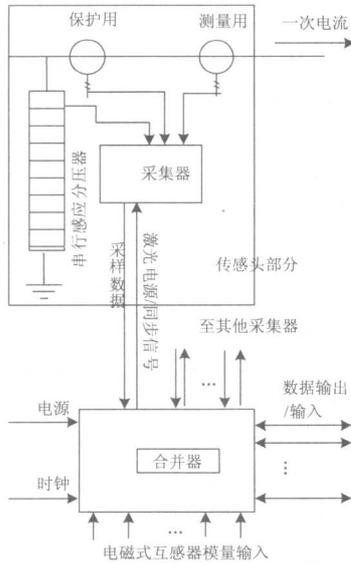


图2 光电式互感器 Fig.2 OVT /OCT

### 2.2 间隔层

间隔层由保护装置、测控装置、故障录波装置以及其他智能设备构成。保护及测控装置等提供光电式互感器接口，直接获取来自光电式互感器的数字信号，不需经模数转换。其主要功能是实现：(1) 汇总本间隔过程层实时数据信息；(2) 实施对一次设备保护控制功能；(3) 实施本间隔操作闭锁功能；(4) 实施操作同期及其他控制功能；(5) 对数据采集、统计运算及控制命令的发出具有优先级别的控制；(6) 承上启下的通信功能<sup>[2]</sup>。

间隔层采用 GOOSE 传递信息。GOOSE 代表通用面向对象变电站事件，是 IEC61850 定义的一种通信机制，用于快速传输变电站事件，诸如命令、告警、指示、信息等；GOOSE 网采用支持报文优先级和组播功能的 100 M 光纤以太网，单个的 GOOSE 信息由 IED 发送，并能被若干个 IED 接收使用，满足保护、录波等功能要求的实时性，同时定期发送 GOOSE 报文，并且通过重发相同数据来获得更多的可靠性。具体实现如图 3 所示。

计量系统采用三相光电式多功能电能表，具备光纤数字接口，能直接接收来自合并器或智能单元的以太网输出，光电式电能表为全数字处理系统，通过数字通信获取数字化的电流电压瞬时值。数字信号经光纤以太网传输，不受电磁波干扰，经过校

验的数据无任何附加误差。测量系统的误差由数字式光电电流电压互感器决定。

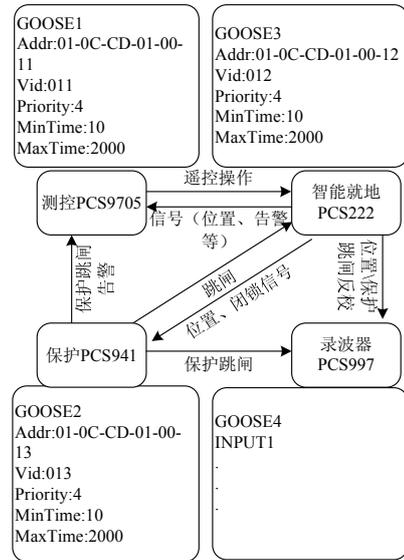


图3 XX间隔的GOOSE配置

Fig.3 XX bay GOOSE configuration

数字式故障录波装置有采样数据接口，集中式录波按 110 kV、220 kV、主变各组录波屏，通过保护信息系统网络上送波形，接收合并单元数字化的交流采样信号，对交流量（母线电压和各个间隔）录波；开关量的采集有两种方式：采用常规电缆接线方式或 GOOSE 网络记录开关量信息。详见现场运行中一次 220 kV 线路的 C 相故障的波形图，如图 4 所示。

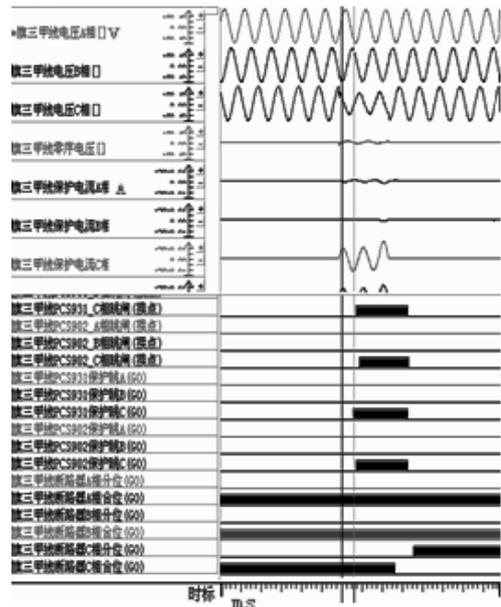


图4 C相接地故障的GOOSE录波图

Fig.4 C-phase ground fault waveform with GOOSE

## 2.3 站控层

三乡数字化变电站系统站控层设备主要包括：监控系统主机、操作员工作站、远动机、保护信息子站、维护工程师站等，采用 1 000 / 100 M 工业以太网。监控系统主机和操作员工作站负责实现变电站监视和控制主要工作。远动机负责将变电站内信息按标准远动规约通过远动通道，向调度中心远传，并实现调度中心远方控制。保护信息子站采集变电站内各种保护以及故障录波信息，向保护信息主站传输。远动机、保护信息子站与后台系统之间数据流相互独立，互不影响。

站控层主要功能是：（1）汇总全站的实时数据信息，更新实时数据库；（2）与调度或控制中心通信；（3）转发调度或控制中心有关控制命令给隔层、过程层执行；（4）全站操作闭锁控制；（5）站内当地监控，人机联系功能，如显示、操作、打印、报警，甚至图像，声音等多媒体功能；（6）间隔层、过程层诸设备在线维护、在线组态，在线修改参数；（7）变电站故障自动分析和操作培训功能。

后台监控 GOOSE 网络的监视，GOOSE 网络由双网（A 网、B 网）构成，各个间隔之间的各个设备互相监视，以 220 kV 的间隔为例，如图 5 所示。

发送	#1保护	#2保护	测控	#1智能	#2智能	#1母差	#2母差
接收	PCS931	PCS902	9705	PCS222	PCS222	PCS915	PCS915
#1保护 PCS931				A B		A B	A B
#2保护 PCS902					A B	A B	A B
测控 9705	A B	A B		A B	A B	A B	A B
#1智能 PCS222	A B		A B			A B	
#2智能 PCS222		A B					A B
#1母差 PCS915	A B	A B		A B			
#2母差 PCS915	A B	A B			A B		

图5 某间隔GOOSE网络状态表

Fig.5 A bay GOOSE network status table

网络记录分析仪，其网络口接入站控层、过程层，记录 MMS\GOOSE\SV 的报文，提供基本的报文分析功能，用于记录故障现场。三乡变电站现场配置四台记录仪与一台分析仪，分别记录 MMS 网的双网报文、GOOSE 的网络 A（110 / 220 kV）报文、GOOSE 的网络 B（110 / 220 kV）报文、保护信息网及 SV 的信息报文，分析仪进行在线分析或离线分析，从多层次、多角度解析通信报文、分析通信过程，并提交分析报告。

## 3 改造过程中主要问题及处理

### 3.1 光电式电压互感器的问题

由于每个间隔的保护测控在更换后，其相对应

的母线电压需要数字量输入，如果先改造光电式电压互感器，需要全站同时停电，这是不可行的。在三乡变电站中使用了如下解决方案：新增加将模拟电压转换为数字量的光电式互感器采集单元，安装于 PT 电压测控屏，接入模拟母线电压，数字输出，提供给各个装置包括母差、录波、间隔层的各个合并单元使用。于是就可以申请进行间隔改造，改造后间隔电压在该合并单元取，待全部间隔改造完毕后再进行 PT 改造。此方案不影响间隔改造，间隔可自由倒母线运行，对运行无影响。同时增加的采集单元也可以为以后的定检及实验准备。另外还有备用的方案供参考：（1）在不拆除旧 PT 的基础上新安装两组光电式互感器，完成后可申请间隔进行改造。此方案优点为不影响间隔改造，间隔可自由倒母线运行，对运行无影响。但必须在一次侧重新做基础，安装光电式电压互感器，需增加两把刀闸，加大投资。（2）先将一段母线 PT 更换为光电式电压互感器，新改造间隔挂该母线运行，其余间隔挂另一段母线运行。此方案不须增加任何设备即可进行改造。但间隔只能固定挂一段母线运行，不能进行倒母，不能进行 PT 电压切换，若 PT 或母线有故障，有一部分线路可能被迫停运。

### 3.2 公用设备的处理问题

在改造过程中当任一间隔更换光电式 CT 后，其 CT 改用光纤输出，而母差、录波、计量等旧公用设备该如何处理呢？解决方法：母差保护屏上包括主站与子站，母差子站用于改造过渡阶段，接入各个间隔的常规电流及母线电压，各间隔的刀闸位置，母差主站实现跳闸输出。常规的电流及母线电压，各间隔刀闸位置和跳闸输出从原来的旧母线保护屏电缆硬连线转接。当间隔改造完后，各间隔电流及电压逐步从各个间隔合并单元光纤直接引至母差主机柜，同时从 GOOSE 网络接收各间隔 I 母、II 母刀闸位置，通过 GOOSE 网络跳闸输出至各间隔的智能就地柜，同时撤除子站。故障录波及电能计量安装新屏，改造后的间隔直接接入。对于任一个间隔停电改造时，需要将母差保护退出运行，与此间隔联调(如间隔的刀闸 GOOSE 开入到母差，电流到母差，母差 GOOSE 跳开关及闭锁重合闸等试验)。

### 3.3 GOOSE 点表的配置

在传统的变电站中，各种保护动作、失灵等回路都由常规电缆连接实现，都是可见的。但在数字化变电站中，保护与保护、保护与智能就地柜、测控与智能就地柜之间跳闸、信号、控制等都是用 GOOSE 实现的，与传统截然不同，试验时需要通过记录 GOOSE 报文的方式检查问题，或通过数字

录波器和保护测控装置上的 GOOSE 变量的记录来查看。刚开始改造时的 GOOSE 各个装置之间的联系点表非常重要, 要求设计院及各方确认后配置, 以期一次性完成改造。

### 3.4 电压的并列及切换的实现

在数字化改造中, 是用合并单元实现电压的切换和并列, 用传统的通过继电器的切换来实现是绝对不行的。在三乡变中使用如下的处理方法: 合并单元具备在双触点继电器位置异常、双跨告警与两个母线刀闸均闭合, 延时 10 s 并通过硬接点告警刀闸切换异常, 刀闸都断开时不告警的功能。在间隔的合并单元上接入 I 母刀闸的常开与常闭、II 母的常开与常闭触点(接入刀闸的常开、常闭接点增加切换的可靠)。PT 合并单元接入 PT 并列投入、I 母 PT 合位、II 母 PT 合位, 母联刀闸合位, 但考虑到刀闸位置触点故障情况下, 可能导致母线电压并列不成功, 故现场直接用切换把手(QK)来实现, 将母联刀闸位置短接, 用强制 I 母、强制 II 母、及解列三个位置来实现电压的并列。同时在改造过程中可以通过合并单元看波形的方法或用数字式录波器核相。

### 3.5 间隔层五防连锁的问题

在三乡变中不仅有站控层防误、现场布线式单元电气闭锁, 还有间隔层测控装置通过 GOOSE 协议实现了间隔层五防的功能。间隔层的测控装置具备直接通信的功能, 不需依赖站控层设备, 装置闭锁逻辑所需的信号由相关的测控装置准确快速地提供, 并实现对于通信中断及逻辑关联的测控装置检修时防误功能。由于在改造过程中, 一个间隔停电改造, 其相关的间隔不一定已改造, 就算是已经改造, 也不可能停相关间隔来实现开关刀闸的位置变位来测试此间隔的间隔层五防的功能, 故在此过程中, 用 GOOSE 的报文产生软件来实现测试, 模拟别的间隔的 GOOSE 的位置信号, 同时在投运时将此间隔的间隔层五防退出, 等所有的间隔改造完后再投入此项功能。

### 3.6 合并单元告警问题

正常情况下合并单元上电时, 装置面板液晶会分别显示三相激光供能光纤的输出功率。但如果有某一相的供能光纤没接, 在合并单元上电时, 面板液晶同样会显示供能光纤输出功率, 显示该未接供能光纤的相别“电源异常”告警。在光电式 CT 通过的一次电流达到额定电流 10% 时, 是取能线圈供能状态; 也有监视 CT 采集器取能线圈工作状态。

### 3.7 间隔层装置检修状态功能

改造完的间隔装置, 能保证检修状态时的安全性, 防止误动, 又能保证试验时能够进行传动开关

等的操作。在 GOOSE 发送带 TEST 位, 当本装置或发送方只有一方为检修状态时, 对于保护装置的状态为无效状态, 值取缺省值, 在菜单 GOOSE 状态中可以看到接受的 GOOSE 状态, 对于测控装置, 仍取 GOOSE 报文的实际状态; 当双方均为检修状态时, 数据有效。当 GOOSE 断链时, GOOSE 状态置无效, 数据不刷新。

### 3.8 光纤的问题

(1) 光纤标示: GOOSE 网及 SV 网都用到光纤, 运行或调试过程中需要常换光纤, 无标示无法完成, 故网络尾纤必须有明确标识。采用电缆牌或标签, 同时必须有编号处理此问题。(2) 激光电源器注意事项: 激光电源不能空载运行, 否则易损坏。如激光电源在工作状态, 将数据光缆或能量光缆拔开可造成激光电源空载而烧坏。切记不得用眼睛观察激光孔或激光, 会烧伤眼睛。(3) GOOSE 网络的实时监视: 如在现场运行过程中发现某个间隔发生 GOOSE 断链的信息, 用光功率计检查发现运行的光纤芯衰耗很大, 更换备用芯正常。另还要特别注意: 光纤与二次设备连接的尾纤应可靠连接, 注意光纤的防尘防污染工作, 不随意插拔光纤, 以免沾上灰尘影响光纤性能, 尾纤自然弯曲, 无折痕, 弯曲半径不得小于 10 倍尾纤直径, 外皮无破损。

### 3.9 运行维护的问题

(1) 变电站使用 GOOSE 以后, 维护检修相关管理规定将面临新的变化需求。GOOSE 交换机将直接影响保护的运行可靠性, 需要进行更严格的管理和面向 IEC61850、GOOSE 应出台更为细致严格的实施规范。(2) 现场配置文件的文档化。数字化站包含装置类型多, 配置文件复杂, 检查问题的方法与传统不同, 就要求现场的配置文件都要编辑成册, 如 GOOSE 配置(GOOSE 的地址及点表)、交换机的配置、装置的配置、网络的组成、远动系统、监控系统、保护信息系统, 为维护创造有利条件。

(3) 使用光电式互感器、合并单元、数字化保护录波及计量后, 相关测试、检修方法将发生变化, 对相关的部门提出了新的更高的要求。

## 4 结语

三乡数字化变电站改造工程是广东中山供电局、广东电网公司变电站建设中新的里程碑, 并为数字化站的建设指明了方向。全站改造完以来, 系统内的各个设备运行正常, 各类数据采集、传输无误, 保护和自动装置动作正常。充分说明: 通过实践的检验, 数字化变电站技术能满足电力系统安全、稳定运行的要求。该站的改造完成对以后的数字化变

电站建设具有重要的指导意义, 相信在不久的将来, 必将迎来数字化变电站自动化系统的蓬勃发展期。

### 参考文献

- [1] IEC. IEC61850 变电站网络通讯和系统[S]. 2004.  
IEC. IEC61850 communication networks and systems in substations[S]. 2004.
- [2] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.  
GAO Xiang. Digital substation application technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.

- [3] IEC. IEC 60044-8 仪用互感器[S]. 2002.  
IEC. IEC60044-8 instrumentation transformers[S]. 2002.

收稿日期: 2009-11-03; 修回日期: 2010-04-11

### 作者简介:

谷成(1978-), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事继电保护、变电站自动化系统及相关工作; E-mail: guc@nari-relays.com

徐超(1979-), 男, 专科, 助理工程师, 主要从事继电保护、变电站自动化系统及相关工作;

谢珂(1979-), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事继电保护、变电站自动化系统及相关工作。

(上接第 182 页 continued from page 182)

- WANG Zhi-nan, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, et al. Study and implement of CIS and SVG based on IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (22): 60-63.
- [6] 石东源, 卢炎生, 王星华, 等. SVG 及其在电力系统软件图形化中的应用初探[J]. 继电器, 2004, 32 (16): 37-40.  
SHI Dong-yuan, LU Yan-sheng, WANG Xing-hua, et al. Study of the application of SVG in power system graphicalized software[J]. Relay, 2004, 32 (16): 37-40.
- [7] 李亚平, 姚建国, 黄海峰, 等. SVG 技术在电网调度自动化系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (23): 80-82.  
LI Ya-ping, YAO Jian-guo, HUANG Hai-feng, et al. Application of SVG in the dispatching automation system of power network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (23): 80-82.

- [8] 敖丽敏, 李林辉. 基于 AJAX 的电力图形系统的实现[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (9): 47-50.  
AO Li-min, LI Lin-hui. Implementation of a power graphics system based on AJAX[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (9): 47-50.
- [9] 朱清华, 陈剑云. 分布式 SCADA 系统的 UML 建模分析与设计[J]. 计算机工程, 2005, 3 (6): 218-221.  
ZHU Qing-hua, CHENG Jian-yun. Analysis and design of a distributed SCADA system with UML[J]. Computer Engineering, 2005, 3 (6): 218-221.

收稿日期: 2009-11-17; 修回日期: 2009-12-16

### 作者简介:

刘莉(1978-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为管理信息系统;

屈志坚(1978-), 男, 博士研究生, 研究方向为智能监控与网络拓扑算法. E-mail: 08117324@bjtu.edu.cn

(上接第 185 页 continued from page 185)

DSP 强大的数据计算能力, 和 ARM 丰富的外设资源, 共同实现电力参数的在线实时测量。基于 WinCE 5.0 嵌入式操作系统平台的主控软件实现了人机交互, 便于系统的测量、控制和数据管理。

### 致谢

致谢保定新云达电力设备有限责任公司提供仪器测试条件。

### 参考文献

- [1] 于庆广, 付之宝. 电能质量指标及其算法的研究[J]. 电力电子技术, 2007, 24 (1): 13-15.  
YU Qing-guang, FU Zhi-bao. Research on power quality specification and arithmetic[J]. Power Electronics, 2007, 41 (1): 13-15.
- [2] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
XIAO Xiang-ning. Analysis and control of power quality[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] 李圣清, 朱英浩, 周有庆, 等. 电网谐波检测方法的综述[J]. 高电压技术, 2004 (3): 39-42.

LI Sheng-qing, ZHU Ying-hao, ZHOU You-qing, et al. The over view of detecting methods for harmonic in power system[J]. High Voltage Engineering, 2004 (3): 39-42.

- [4] 汪玉凤, 刘晰霞, 刘静, 等. DSP 在电力系统实时相量测量的研究[J]. 继电器, 2007, 35 (24): 40-42.  
WANG Yu-feng, LIU Xi-xia, LIU Jing, et al. Study of the real-time measurement of power system phasor based on DSP[J]. Relay, 2007, 35 (24): 40-42.

收稿日期: 2009-11-25; 修回日期: 2010-02-11

### 作者简介:

尚秋峰(1968-), 女, 硕士生导师, 教授, 主要研究领域为现代传感与测量技术、实时信号处理; E-mail: Lindashqf@126.com

陈于扬(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为现代传感与测量技术; E-mail: teamosj2008@163.com

姚国珍(1979-), 男, 讲师, 主要研究方向为现代传感测量技术。