

符合 IEC 61850 标准的数字化线路保护研究

王晓芳^{1,2}, 周有庆², 袁旭龙¹, 刘家芳¹

(1. 邵阳学院电气工程系, 湖南 邵阳 422000; 2. 湖南大学电气与信息学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 以超高压线路保护为例, 参考 IEC 61850 标准的功能分层结构, 将传统保护装置的各功能模块分映射至间隔层或过程层, 构建符合 IEC 61850 的新型数字化线路保护。符合 IEC 61850 的数字化线路保护装置硬件平台采用卡件式的设计理念, 将各逻辑设备映射到具体的卡件, 使用以太网和交换机作为各卡件之间数据交互的通道。符合 IEC 61850 的继电保护软件对通信功能有了更高的要求, 传统的前后台系统开发方式已不再适用, 基于 $\mu C/OS-II$ 的继电保护软件不仅可以提高开发效率, 而且能够改善保护的性能。试验表明符合 IEC 61850 的数字化线路保护装置由于采用了电子式电流互感器和引入了嵌入式实时操作系统, 在防止差动保护误动和缩短保护跳闸出口时间等性能方面得到了改善。

关键词: IEC 61850; 数字化线路保护; 对象模型; 卡件式硬件设计; $\mu C/OS-II$

Study on digital line protection complying with IEC61850 standard

WANG Xiao-fang^{1,2}, ZHOU You-qing², YUAN Xu-long¹, LIU Jia-fang¹

(1. Electrical Engineering College, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China; 2. Electrical and Information Engineering College, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Taking EHV line protection as an example, the new digital line protection in accordance with IEC 61850 is constructed with reference to the functional hierarchical structure of IEC 61850 standards and mapping various function modules of traditional protection to process level or bay level. The hardware platform used cards style design idea for suiting for the digital line protection of IEC 61850. The idea is mapping logical device to specific cards and taking Ethernet and switches as data interaction channel among cards. The corresponding protection software has higher demands to the communication functions, the traditional system development approach is no longer applicable, however, the new software based on $\mu C/OS-II$ does not only improve the efficiency of development but also improve the performance of the protection. Experiments show that the new device has improved mal-operation of differential protection and shortened the trip signal time because used electronic current transformer and introduced the embedded real-time operating system.

Key words: IEC 61850; digital line protection; object model; card pieces hardware design; $\mu C/OS-II$

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0073-06

0 引言

随着计算机网络与现代通信技术的飞速发展, 变电站自动化技术在电力系统中得到了广泛的应用。通信技术的实现是变电站自动化技术的关键所在, 变电站自动化系统的传输规约和传输网络的标准化, 是实现可靠快速通信的保证。为了解决数据类型和传输格式不统一的问题, 我国现有变电站不同程度地应用了 IEC 60870-101, 103, 104 规约, 特别是 103 规约, 在子站及各保护系统中都得到了

较广泛的应用^[1,2]。103 规约虽然提供了部分信息类型的统一的约定, 但是由于不同的厂家对它的理解存在偏差, 使得各厂家生产的智能电子设备 (IED) 不具备互操作性, 严重影响了通信的质量。经过长达 6 年的准备, 2005 年国际电工委员会 (IEC) 第 57 技术委员会 (TC 57) 颁布了变电站通信网络和系统系列标准 IEC 61850, IEC 61850 系列标准的最主要目的就是要实现互操作性, 使得来自同一厂家或不同厂家的 IED 之间能正确交换信息和使用信息, 从而实现协同操作。它是未来变电站内通信的主要标准, 也是未来电力系统无缝远动通信标准的基石^[3-5]。

基金项目: 湖南省教育厅科技项目 (No. 08c787)

IEC 61850 将变电站分为三层：过程层、间隔层、变电站层。继电保护装置作为间隔层非常重要的 IED，就必然要遵循 IEC 61850 的建模要求。遵循 IEC 61850 的变电站过程层采用光电传感器，实现了过程层数据采集的数字化，变电站的各层之间采用网络实现数据的交换与共享，这与现有微机保护装置存在很大的区别，必须对现有保护装置进行改造，使之具备网络化的特点；同时，保护装置不仅要完成大量的数据处理与逻辑判断，遵循 IEC 61850 后还要完成大量的通信任务。如果仍然采用传统的前后台开发模式，由于中断资源的限制，很难满足继电保护快速性的要求。本文以超高压线路保护为例，就遵循 IEC 61850 的保护建模，新硬件平台的搭建，基于嵌入式操作系统的软件开发，过程层数字化给保护性能带来的影响等方面进行研究，对开发符合 IEC 61850 的保护 IED 具有积极的指导意义。

1 符合 IEC 61850 的线路保护建模

1.1 IED 模型设计的一般步骤

IEC 61850 标准采用面向对象的建模技术，定义了基于客户机/服务器结构的数据模型。每个 IED 由一个或多个服务器 (Server) 和应用组成，服务器包含一个或多个逻辑设备 LD (Logic Device)；逻辑设备包含逻辑节点 LN (Logic Node)；逻辑节点包含数据对象 DO (Data Object)；数据对象包含数据属性 DA (Data Attribute)。

IED 模型的设计，可以遵循一定的步骤，文献 [6] 给出了一种实用的 IED 模型设计步骤：

- 1) 分解 IED 要完成的功能，每一种功能对应于一个逻辑节点 LN；
- 2) 根据完成每一个功能所需的信息，设计每个 LN 的数据及数据属性；
- 3) 对所有功能进行分类处理，将具有相似性质的功能组成一个逻辑设备 LD，从而将一个 IED 分解成一个或几个 LD；
- 4) 信息服务模型的建模，为每个 IED 设计一个 Server，包含此 IED 的所有 LD，即根据实际需要完成 SGCB、BRCB、URCB、LCB、GoCB、GsCB、MSVCB、USVCB 和 DATASET、文件、关联等的建模。

1.2 超高压线路保护的对象模型

1.2.1 超高压线路保护的功能分解

IED 模型设计时的第一步就是进行 IED 的功能分解，使得每个功能与一个逻辑节点具有一一对应关系。一套典型超高压线路保护可以分解为表 1 所

示的各种功能。

表 1 典型超高压线路保护的功能分解

Tab.1 Functional decomposition of typical EHV line protection

测量功能	保护功能	控制功能	事故后分析功能	人机接口
电压、电流测量	分相电流差动	自动重合闸	故障测距	键盘
有功、无功测量	零序电流差动	开入、开出	SOE	显示
相角测量	三段式距离	断路器失灵	记录扰动	
电压、电流采集	四段式零序过流	振荡闭锁		

1.2.2 对象模型

依据标准，可以将具有相似性质的功能组成一个逻辑设备。分析一套典型超高压线路保护的主要功能，可将超高压线路保护的各个逻辑节点组合成 5 个逻辑设备，分别是：模拟量数据采集逻辑设备 LD1 (电流量的采集、电压量的采集功能)；开入、开出逻辑设备 LD2 (开入、开出控制功能)；保护、控制、分析逻辑设备 LD3 (保护功能、自动重合闸功能、断路器失灵功能、振荡闭锁功能、事故后分析功能)；量测值测量逻辑设备 LD4 (电压、电流测量、有功、无功测量、相角测量功能)；人机接口逻辑设备 LD5 (人机接口功能)。

根据文献[7]关于卡件设计的思想，将整个保护划分为四个卡件，分别是：数字式模拟量采集卡件、智能 I/O 卡件、保护逻辑卡件、人机接口卡件。对应地，将 LD1 映射至数字式模拟量采集卡件，LD2 映射至智能 I/O 卡件，LD3、LD4 映射至保护逻辑卡件，LD5 映射至人机接口卡件。按照这种映射关系确定的超高压线路保护对象模型如图 1 所示。

2 保护装置硬件平台的改进

遵循 IEC61850 标准的变电站自动化系统，在过程层采用光电传感器和智能 I/O 设备，使得处在间隔层的保护装置从过程层接收的不再是模拟信号，而是通过通信网络传送的符合 IEC61850-9 标准的数字量，对过程层的控制信号输出也采用通信网络传送至智能 I/O 设备。装置与变电站层相连的网络采用基于 MMS 服务的 IEC61850-8 标准。所以，符合 IEC 61850 标准的保护装置必须对传统硬件进行改进，使其具备“网络化”的特点。新型保护装置硬件平台采用卡件式结构设计，整套保护装置由数字式模拟量采集卡件、智能 I/O 卡件、保护逻辑

卡件、人机接口卡件四个卡件组成,其中数字式模拟量采集卡件、智能 I/O 卡件映射至过程层设备,保护逻辑卡件、人机接口卡件映射至间隔层设备。新的保护装置硬件平台如图 2 所示。图中虚线框部分完成的就是传统保护装置的功能,保护逻辑卡件

与人机接口卡件之间通过一个双口 RAM 进行数据的交互,人机接口卡件通过一个 100 MBit/s 交换机与模拟量采集卡件、智能 I/O 卡件相连,与变电站层设备也通过一个 100 MBit/s 交换机相连。

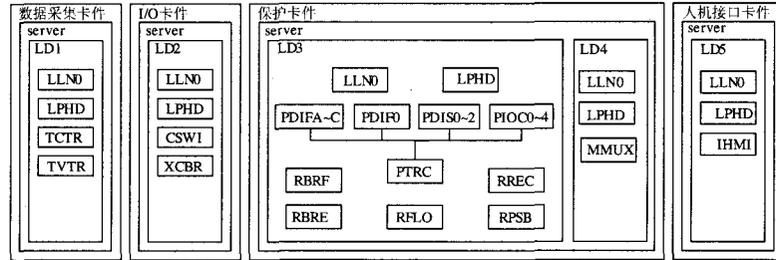


图 1 映射至卡件的超高压线路保护对象模型

Fig.1 Object model of EHV line protection with mapping to card pieces

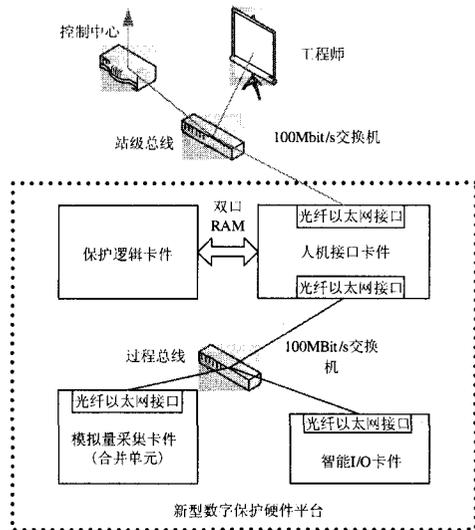


图 2 符合 IEC 61850 的新型数字化保护硬件平台结构

Fig.2 Hardware platform structure of digital protection complying with IEC 61850

2.1 数字式模拟量采集卡件设计

由于过程层采用光电传感器,电流、电压传感器输出的直接为数字信号,按照 IEC 60044-8 与 IEC 61850-9^[8-10]采用合并单元作为光电传感器与数字化保护的接口,因而,数字式模拟量采集卡件就是一个合并单元。图 3 为设计的一款合并单元的硬件电路结构图,它由基于 ARM7 芯核的 LPC2210 核心主板、SDRAM、Flash EPROM、以太网接口、键盘、LCD 显示、输入输出逻辑接口、采样脉冲发生器、GPS 同步脉冲输入接口、晶振和电源组成。

2.2 智能 I/O 卡件设计

将传统保护装置中的开入、开出模块剥离出来,采用带以太网的智能 I/O 卡件来实现其功能,将开入、开出功能映射到过程层。为了开发的一致性,

采用与数字式模拟量采集卡件相同的 CPU 芯片

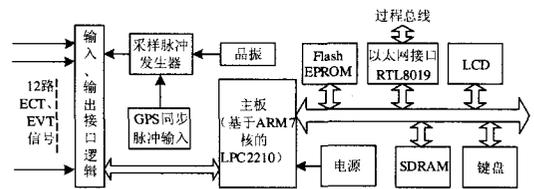


图 3 合并单元卡件硬件结构图

Fig.3 Hardware structure of MU

LPC2210, CPLD 芯片 XC95144 作为 LPC2210 的接口扩展,由于 LPC2210 没有以太网控制器,专门外设一块 RTL8019 以太网控制芯片以便接入过程总线。开入信号经光电隔离后输入,开出信号进行信号放大后,经光电隔离控制继电器的通断,以达到控制外部开关的目的。

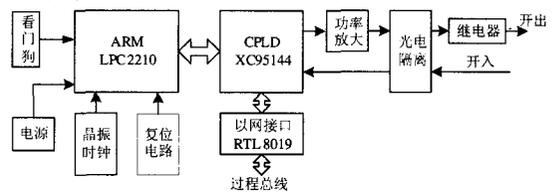


图 4 智能 I/O 卡件设计

Fig.4 Design of intelligence I/O card

2.3 保护逻辑卡件的设计

保护逻辑卡件是整个保护装置的核心,它完成各种保护逻辑的运算,对 CPU 的速度有很高的要求,所以设计的保护逻辑卡件采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320C6201 做为 CPU,利用 DSP 处理器强大的运算功能完成各种保护算法。图 5 是围绕 TMS320C6201 处理器设计的一款保护逻辑卡件,除了晶振、看门狗、电源、复位等维持最小系统正常运行的基本部件外,考虑保护算法需要保存的信息

量大,专门通过 CPLD 芯片扩展了片外 Flash EPROM 和 SDRAM。这里设计的保护逻辑卡件只实现保护逻辑运算,其它的功能均通过人机接口卡件来实现,在二者之间专门设计了一个双口 RAM,用于二者之间的数据共享。

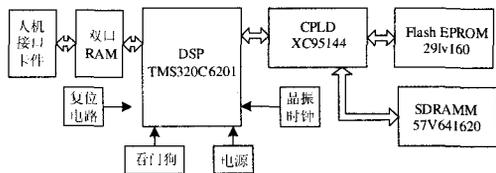


图 5 保护逻辑卡件的硬件设计

Fig.5 Hardware design of protection logical card

2.4 人机接口卡件设计

为了开发的一致性,人机接口卡件采用 LPC2210 作为 CPU,考虑 LPC2210 片内资源不足,扩展了 2 片 1 Mx16 bit 的 Flash EPROM 存储器和 2 片 4 Mx16 bit SDRAM 存储器;LPC2210 自带两个 UART,可以设计一个 RS-232 接口,用于调试与现场升级,另一个用做 RS-485 接口,与其它传统设备接口;采用 2 片 RTL8019 组建 2 个以太网接口,一个用于通过过程总线与过程层设备通信,另一个用于通过站级总线与变电站设备通信;同时设计了由键盘、LCD、LED 组成的人机交互界面;考虑 LPC2210 通用 I/O 资源的不足,利用 CPLD 芯片 XC95144 进行接口扩展。图 6 是设计的人机接口卡件硬件结构图。

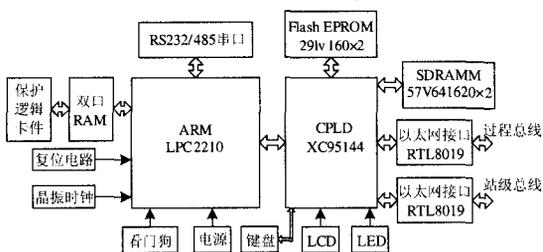


图 6 人机接口卡件的硬件设计

Fig.6 Hardware design of HMI card

3 基于 $\mu C/OS-II$ 的嵌入式保护软件开发

在传统的继电保护软件中一般采用前后台系统的开发方式,应用程序由后台运行,一般是一个无限循环,循环中调用相应的函数(子程序)完成相应的操作(称为后台行为或任务级);用中断来处理随机事件(称为前台行为或中断级)^[11]。在设计符合 IEC 61850 的保护软件时,对通信功能有了很大要求,传统的前后台系统开发方式由于中断资源的限制,将不再适用,必须引入嵌入式实时操作系统

(RTOS)。使用 RTOS,还可以提高开发效率,缩短开发周期。一个复杂的应用程序,可以分解成多个任务,每个任务模块的调试、修改几乎不影响其它模块。 $\mu C/OS-II$ 是硬实时、可裁减、占先式的嵌入式操作系统,有易移植、可靠、稳定等特点^[12]。本节介绍基于 $\mu C/OS-II$ 的超高压线路保护软件开发。

3.1 $\mu C/OS-II$ 的移植

$\mu C/OS-II$ 大部分源代码用 ANSI C 语言编写,只有很少的一部分用汇编语言编写,所以仍需要用 C 语言与汇编语言编写一些与处理器硬件相关的代码。 $\mu C/OS-II$ 在处理器上的移植就是修改如下四个和 CPU 相关的文件:C 语言文件 OS_CPU_C33.C、INCLUDES.H 头文件、头文件 OS_CPU_C33.H 和汇编文件 OS_CPU_C33.ASM,移植工作就是针对这些文件做一些改动。

3.2 任务划分与调度

实时系统中的任务也称作进程,是一段独立的程序,该程序可以认为 CPU 完全只属于该程序自己。每个任务被赋予唯一的优先级,有自己的一套 CPU 寄存器和栈空间。在软件设计时,首要的任务是根据实际情况对任务进行划分和分配合理的优先级,这是保证系统正确运行和软件实现难易程度的基础。任务一般按照功能的不同来划分;而优先级的分配要综合考虑任务的重要程度和任务的运行时间,一般的原则是重要任务优先级高,运行时间长的任务优先级尽量低些。根据超高压线路保护的需完成的功能,对保护软件的任务作了划分并且根据任务重要程度分配了优先级,如表 2 所示。

表 2 超高压线路保护系统任务及其优先级

Tab.2 Tasks of EHV line protection and their priorities

优先级	任务名称
4	采样任务
5	分相电流差动任务
6	零序电流差动任务
7	振荡闭锁任务
8	三段式距离任务
9	四段式零序过流任务
10	断路器失灵任务
11	自动重合闸任务
12	CT断线检测任务
13	TV断线判断任务
14	控制回路断线监测任务
15	故障测距任务
16	SOE任务
17	记录扰动
18	键盘扫描任务
19	时钟任务
20	空闲任务

任务可以在多任务调度(调用OSStart())开始之前建立,也可以在其它任务的执行过程中建立。在开始多任务调度之前,必须至少建立一个任务。在这里,创建的是TaskStart(),称之为主任务。在多任务调度开始之后,首先运行主任务,在主任务中创建并启动其它的任务,如显示任务、保护任务等。在这些任务中又可以创建并启动其它的任务。任务调度的流程如图7所示。

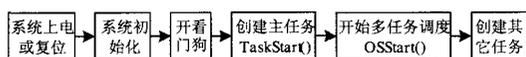


图7 任务调度流程图

Fig.7 Flow chart of task scheduling

4 新型数字化线路差动保护的性能测试

新型数字化线路差动保护装置由于过程层设备采用光电传感器,硬件结构采用了卡件设计的理念,同时采用了嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 开发保护软件,性能方面得到了很大的改善。本文对开发的数字化线路差动保护样机进行动模实验,就保护装置抗饱和差动误动和保护跳闸出口时间两个最重要的指标进行分析。

4.1 区外故障误动性能分析

传统差动保护装置采用电磁式电流互感器(CT)的二次侧电流量进行比较,在外部发生短路故障时,会使铁芯饱和,从而导致CT的暂态输出电流发生畸变,产生很大的不平衡电流,使差动保护发生误动作。由于电子式电流互感器(ECT)具有测量范围宽、无磁饱和的特点,可以解决差动保护区外故障时差动保护误动现象的发生。图8给出了区外故障时,采用CT与ECT的差动保护的比率制动特性,发现同一整定条件,采用CT的差动保护发生误动,采用ECT的差动保护可靠不动作。

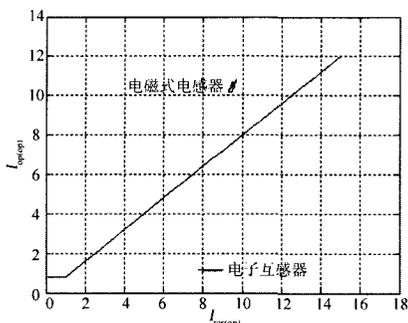


图8 比率制动特性

Fig.8 The ratio restraint characteristic curve

4.2 保护跳闸出口时间分析

保护跳闸出口时间是衡量保护装置性能非常

重要的指标之一,它是指从故障发生时刻到装置内继电器动作输出跳闸信号的时间。表3给出了采用 μC/OS-II 的数字化保护装置与传统采用前后台系统的保护装置关于保护跳闸出口时间的对比。

表3 数字化保护装置与传统保护装置跳闸出口时间的对比(单位:ms)

Tab.3 The comparison of protection trip signal time between digital protection and traditional protection (ms)

保护类型	试验次数	试验项目			
		分相差动	距离I段(近处)	距离I段(远处)	零序过流
传统保护	1	18.74	14.21	19.23	19.37
	2	19.01	14.11	19.01	19.28
	3	18.88	14.43	19.44	19.46
数字化保护	1	18.62	13.98	18.88	19.05
	2	18.03	13.94	18.77	18.78
	3	18.42	14.19	18.59	18.89

从试验数据可以发现,数字化保护装置比传统保护装置的跳闸出口时间有一定的改进,这主要是因为数字化保护装置采用了基于嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 的保护软件设计理念。它是事件驱动的,由发生故障来激活保护任务,使优先级较高的保护任务先进行处理。缩短了保护的跳闸出口时间,提高了保护的性能。

5 总结

遵循 IEC 61850 的变电站过程层采用光电传感器,使得处于间隔层的保护装置呈现“数字化”、“网络化”的特点,对保护装置的硬件平台提出了新的、更高的要求。符合 IEC 61850 的数字化线路保护装置借鉴 IEC 61850 标准的功能分层结构,将整套保护装置划分为5个逻辑设备,并分别映射至间隔层与过程层,采用卡件式的硬件设计理念,每一个卡件完成一个特定逻辑设备的功能。

符合 IEC 61850 的继电保护软件对通信功能有了更高的要求,传统的前后台系统开发方式由于中断资源的限制,将不再适用。在嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 上设计开发的超高压线路保护软件不仅可以提高开发效率,也能改善保护的性能。

由于过程层采用光电传感器,线路差动保护可有效避免区外故障时误动现象的发生;基于嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 的数字化保护软件由于应用多任务调度、事件驱动等技术,缩短了保护的跳闸出口时间。

参考文献

- [1] DL/T 667-1999. 远动设备及系统第 5 部分传输规约第 103 篇: 继电保护设备信息接口配套标准[S].
DL/T 667-1999. Telecontrol Equipment and Systems.Part 5:Transmission Protocols, Section 103 Companion Standard for the Information Interface of Protection Equipment[S].
- [2] DL/T 667-1999. 远动设备及系统第 5 部分传输规约第 104 篇: 使用标准传送文件的 IEC 60870-5-101 网络访问[S].
DL/T 667-1999. Telecontrol Equipment and Systems.Part 5:Transmission Protocols.Section 104 Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles[S].
- [3] 任雁铭,秦立军,杨奇逊.IEC61850 通信协议体系介绍和分析[J].电力系统自动化,2000, 24(8):62-64.
REN Yan-ming, QIN Li-jun, YANG Qi-xun. Study on IEC 61850 Communication Protocol Architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8):62-64.
- [4] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25(8):7-10.
TAN Wen-shu. Seamless Telecontrol Communication Architecture[J]. Power System Technology, 2001, 25(8):7-10.
- [5] 谭文恕. 电力系统无缝通信系统体系[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11):1-5.
TAN Wen-shu. Seamless Communication Architecture in Power Systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(11):1-5.
- [6] 王阳光,尹项根,游大海,等. 遵循 IEC 61850 标准的广域电流差动保护 IED[J]. 电力系统自动化,2008,32(2):53-57.
WANG Yang-guang, YIN Xiang-gen, YOU Da-hai, et al. Development of Wide Area Current Differential Protection IED Conforming with IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(2):53-57.
- [7] 吴在军,窦晓波,胡敏强. 基于 IEC 61850 标准的数字保护装置建模[J]. 电网技术,2005,29(21):81-84.
WU Zai-jun, DOU Xiao-bo, HU Min-qiang. Modeling of Digital Protective Device According to IEC61850[J]. Power System Technology, 2005,29(21):81-84.
- [8] IEC 60044-8. Instrument Transformers – Part 8: Electronic Current Transformers[S].
- [9] IEC 61850-9-1. Communication Networks and Systems in Substations - Part 9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S].
- [10] IEC 61850-9-2. Communication Networks and Systems in Substations - Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – sampled Values Over ISO/IEC 8802-3 link[S].
- [11] 黄伟,查智. 嵌入式系统在微机继电保护中的应用[J]. 继电器,2007,35(13):11-14.
HUANG Wei, ZHA Zhi. Application of Embedded System in Microprocessor-based Protection[J]. Relay, 2007, 35(13):11-14.
- [12] Labrosse J J. 嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II(第 2 版)[M]. 邵贝贝,等译. 北京: 北京航空航天大学出版社,2003.
Labrosse J J. MicroC/OS-II the Real-time Kernel(Second Edition)[M]. SHAO Bei-bei, Trans. Beijing: Beihang University Press, 2003.

收稿日期: 2008-04-02; 修回日期: 2008-07-02

作者简介:

王晓芳(1965-), 女, 硕士, 副教授, 主要从事电力系统微机保护及变电站自动化的教学与研究工作; E-mail: bynum87@gmail.com

周有庆(1944-), 男, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统微机保护及变电站自动化;

袁旭龙(1963-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事电力系统分析的教学与研究工作。

我国电力装机近 8 亿千瓦电力结构优化显成效

我国电力装机近 8 亿千瓦电力结构优化显成效。目前我国电力装机近 8 亿千瓦, 其中清洁能源占到了五分之一, 我国电力结构调整取得了突破性进展。

据国家能源局透露: 目前我国电力装机近 8 亿千瓦, 在去年新增的 9000 多万千瓦中, 清洁能源就占到了近三成, 达到了有史以来的最高比例。

我国仅用了 2 年的时间, 就关掉小火电 3400 多万千瓦, 完成了国家要求 5 年关停目标的 68.4%。

去年以来, 由于电力需求逐步下降, 供求矛盾得到缓和, 国家出台了一系列政策, 在加快淘汰耗能高、污染重的小火电的同时, 大刀阔斧地推进清洁能源建设, 仅去年一年开工的核电就达 1512 万千瓦, 是过去 20 年的总和; 新增水电 2010 万千瓦, 相当于一年投产了一个三峡; 风电总装机突破 1000 万千瓦, 已位居世界第五; 已投产百万千瓦级的高效火电机组 11 台, 这意味着我国火电机组的建设和运行已达到国际先进水平。

到目前为止, 我国供电煤耗已接近国际先进水平, 高效、环保的火电大机组的比例也达到了 60% 以上。