

图形化编程的继电保护软件平台设计

仲伟, 丁宁, 吴参林, 郭伟

(江苏金智科技股份有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 为了简化继电保护装置的开发过程、提高开发质量, 提出了一种新型的继电保护软件开发通用平台。该平台基于嵌入式实时多任务操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 进行开发, 采用模块化、元件化, 以及硬件平台无关性的设计理念, 以可视化的逻辑框图代替传统的编程语言。重点介绍了本平台的软件架构和设计方案。该平台的应用提高了继电保护装置的可靠性、可复用性以及可移植性, 并大大缩短了开发周期和降低了开发成本。基于本平台已开发出了多种型号的继电保护装置并推向市场。

关键词: 继电保护; 软件平台; 图形化编程; 算法元件; 实时操作系统

Software architecture and design of the schematic programmable development platform for protective relay

ZHONG Wei, DING Ning, WU Shen-lin, GUO Wei

(Wiscom System Co., Ltd, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to simplify the development process and improve the development quality, this paper proposes a new schematic programmable development platform of protective relay device. The platform is developed based on embedded multi-task RTOS, namely $\mu\text{C}/\text{OS-II}$, and uses component-based, modular, and hardware-independent design approach. Instead of the traditional programming languages, relays are developed by schematic logic diagram. The software architecture and design scheme of the development platform for protective relay are discussed in detail. The application of the platform can improve the reliability, reusability and the portability of protective relay device, reduce the time of research and development and decrease the cost of development. Based on the platform, a variety of protective relay devices have been developed and popularized to the market.

Key words: relay protection; platform; schematic programming; algorithm component; RTOS

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)03-0100-05

0 引言

早期由于 CPU 速度比较慢, RAM 和 ROM 空间等的限制, 继电保护装置软件普遍采用基于硬件体系的汇编语言或 C 语言手工开发, 以前后台调度方式运行, 对不同的硬件平台, 代码复用率低, 软件可移植性差, 软件可靠性差。随着嵌入式硬件技术的飞速发展, 继电保护软件开发向着模块化、可视化、平台化的方向发展已成为不可逆转的趋势。

本文提出一种图形化编程的继电保护软件开发平台, 该平台基于稳定可靠的嵌入式实时多任务操作系统, 并采用模块化、元件化的设计理念, 以可视化的逻辑框图替代传统的编程语言^[1-5], 从而简化了继电保护装置的开发过程。

1 软件平台的系统架构

如图 1 所示, 软件系统主要包括以下三个主要

组成部分:

- 1) 运行于通用计算机的集成开发环境;
- 2) 运行于装置中的嵌入式支撑平台;
- 3) 硬件设备驱动层。

2 软件平台的设计方案

2.1 集成开发环境

集成开发环境运行于 Windows 平台, 是本软件平台的核心组成部分。继电保护开发人员通过集成开发环境对保护装置进行建模, 配置硬件资源, 通过图形化的开发工具绘制保护逻辑图, 并生成最终可执行程序, 将该执行程序下装到保护装置中运行, 即完成了一台保护装置的开发。

该集成开发环境包括以下几个模块: 装置信息配置工具、电力应用算法元件库、图形化编程开发工具、逻辑编译器、C 语言编译器、执行代码下装工具等进行保护装置开发和调试必须的配套软件。

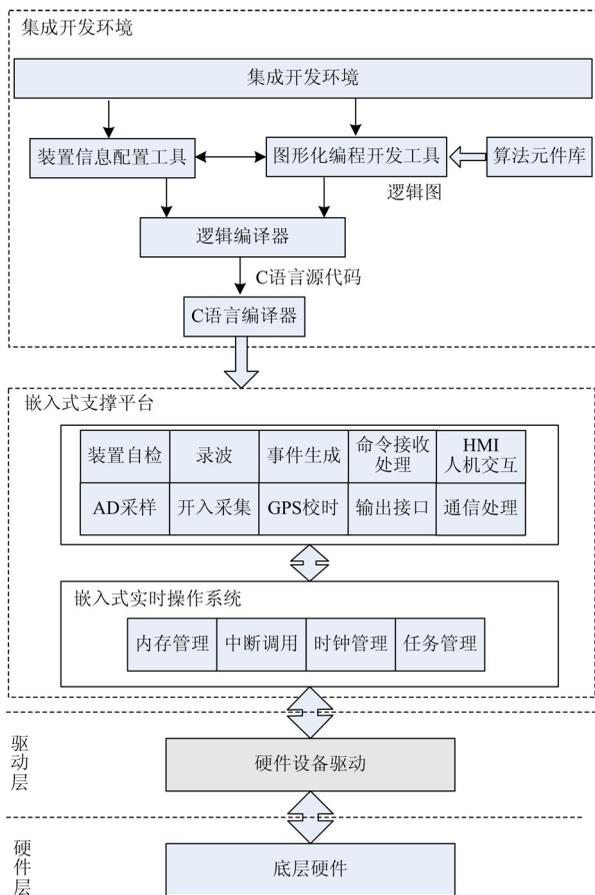


图 1 软件平台架构图

Fig.1 Diagram of the software architecture

2.1.1 装置信息配置工具

该工具基于面向对象的原则对装置进行数据建模, 并配置装置需要用到的各种硬件资源。

装置建模数据主要包括装置基本信息和保护逻辑所用到的各种参数。装置运行的基本信息包括: 装置型号、软件版本、系统频率、每周波采样点等; 保护逻辑所用到的参数包括: 定值、软压板、事件、控制量、遥测、遥信等。以上的参数还同时具备各自的属性, 这些相关属性也需要同时在信息配置工具中配置出来, 例如: 定值包括名称、单位、值的范围、步长等属性。

装置的硬件资源配置主要指装置与硬件相关的各种输入输出资源的配置, 包括以下几个部分:

- 1) 模拟量通道输入。相关属性包括, 通道名称、通道属性(电压、电流通道的)、通道系数等。
- 2) 开关量输入。相关属性包括, 开入名称、合位定义、分位定义等。
- 3) 开关量输出。相关属性包括, 开出名称、合位定义、分位定义, 开出属性(常开、常闭或双位置)等。

4) 硬压板。相关属性包括, 压板名称以及压板所投退的保护单元。

5) 指示灯。相关属性包括, 指示灯名称、默认状态。

6) 通信硬件接口配置。用于配置装置所具备的各种通信接口, 例如, RS485、CAN、Profibus、以太网等。

以上所配置的装置建模数据和硬件资源都会以数据结构的形式保存下来, 在图形化编程开发工具中可通过各种接口元件进行访问。

2.1.2 电力应用算法元件库

所谓元件, 就是将一些经典的继电保护功能或算法进行功能划分, 然后将每个划分好的功能或算法封装成一个独立的元件, 这些元件具有透明的外部接口, 即入口和出口对外界是完全透明的, 但元件的内部则一经封装就固定不变了^[6]。

在本平台中, 根据实现的功能不同, 元件分为以下几种类型:

1) 基础元件。包括与、或、非、异或、加、减、乘、除、大于、小于、等于、大于等于、小于等于、最大值、最小值、定时元件等, 这些元件都用于实现一些最基本的算术逻辑运算。

2) 接口元件。一般用于访问信息配置工具所配置的装置建模数据和硬件资源。接口元件包括定值访问元件、软压板访问元件、事件生成元件、遥测读写元件、采样缓冲区数据访问元件、开入状态读取元件、置开出元件、硬压板状态读取元件、置指示灯状态元件等。

3) 保护算法元件。一般指已经封装成一个独立元件的经典成熟的继电保护原理或算法, 包括傅里叶变换元件、谐波计算元件、均方根元件、差动元件、过量和欠量元件、记忆元件、突变量元件、PT断线元件、CT断线元件、CT饱和判别元件、变压器钟点数转换元件、过负荷元件、阻抗元件等。

将以上这些基础元件、接口元件和保护算法元件分类组织, 并集成到集成开发环境中, 这样就形成了电力应用算法元件库。

由于集成的保护算法元件并不能够覆盖所有可能的保护算法, 并且保护原理和算法也会随着电力系统的发展而不断改进, 因此本平台所提供的电力应用算法元件库是开放可扩充的, 继电保护开发人员可以根据自己的需要, 通过集成开发环境提供的元件自定义工具设计合适的保护算法元件, 其设计过程如下: 首先定义保护算法元件的输入和输入接口的数据类型、输出和输出接口的数据类型, 然后在元件自定义工具中以标准C语言手工编写输入与

输出的算法关系和运算逻辑，这样就完成了一个保护算法元件的自定义，自定义的各种元件可以和元件库中的标准元件一样使用。

电力应用算法元件库中的元件均可以重复使用，在装置开发时可以将这些元件任意组合，灵活使用，只要配置好元件对应的输入和输出，即可实现预定的功能，从而有效提高了产品在工程化中的规范性、可靠性和安全性，也使得继电保护装置的开发周期更短。

2.1.3 图形化编程开发工具

图形化编程就是将继电保护编程的过程用图形的方式表示出来，也就是说原先用手工编程方式来实现的保护逻辑功能现在用图形来实现^[7-10]。用户只需选择电力应用元件库中的基础元件、接口元件、保护算法元件或者开发人员自定义元件，通过连接线将这些元件的输入与输出按照一定的逻辑关系连

接起来，从而构造出保护控制功能和数据流。图形化编程技术极大地提高了软件开发的效率，其透明化设计思想，使用户容易理解和维护，有效降低出错率，提高了软件可靠性。

举例如图 2，是一个典型的过流保护逻辑图。

在该逻辑图中，首先使用接口元件读取了信息配置工具中配置的模拟量通道采样数据，然后将缓冲区数据作为输入提交给实现傅氏变换的保护算法元件，傅氏变换元件经过计算，输出对应模拟量通道的有效值数据，三个有效值数据经过取最大值元件，计算出三相电流最大值，三相电流最大值与定值访问接口元件获取的当前过流定值进行比较，如果电流大于定值，并且经过延时元件判别 20 ms 内电流均大于定值，则 20 ms 后通过置出口的接口元件控制装置跳闸出口。

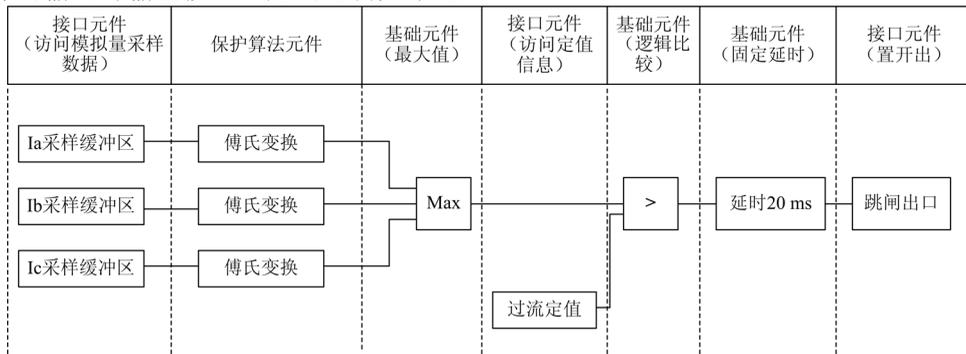


图 2 典型逻辑图

Fig.2 Typical logic diagram

在该逻辑图中，简单展示了信息配置工具、电力应用元件库以及图形化编程开发工具三者之间的关系，在图形组态编程开发工具中，信息配置工具配置出来的装置建模数据和硬件资源信息，通过接口元件进行访问，作为原始数据，经过保护算法元件和基础元件进行算术计算、逻辑计算以及较复杂的保护算法计算，并根据计算结果的判别，对装置输出状态进行修改，这样就实现一定的保护功能。

通过图形化编程工具不仅可以实现保护逻辑，而且可以实现测量计算、控制逻辑等各种功能。

2.1.4 逻辑编译器

逻辑编译器是将图形化编程开发工具设计的逻辑图转换为 C 语言源代码的工具。在转换过程中，首先会对逻辑图进行顺序化处理，根据逻辑图中的全部元件按照连接线的先后关系确定元件的执行顺序；然后对逻辑图进行校验和检查，包括，元件的输入是否都已经确定，元件的输出是否连接到另一元件的输入，元件的输入和输出数据类型是否匹配

等；最后根据元件执行顺序和输入输出连接关系生成标准的 C 语言源代码。

2.1.5 C 语言编译器

针对不同的 CPU 平台，需要选用相对应版本的 C 语言编译器，这些 C 语言编译器一般都由 CPU 厂家提供。由于通过逻辑编译器生成的 C 语言源代码是完全符合 C 语言国际规范的，因此可以在各种不同版本的 C 语言编译器下编译通过，并生成最终的可执行代码，该可执行代码即为保护装置逻辑功能模块程序。

2.1.6 执行代码下装工具

本工具用于将 C 语言编译器生成的可执行代码下装到装置中去执行。

2.2 嵌入式支撑平台

嵌入式支撑平台运行于继电保护装置中，为集成开发环境开发出来的逻辑功能模块提供底层支持。如图 1 中所示，嵌入式支撑平台主要被分成两个组成部分：

1) 嵌入式实时操作系统层;

2) 嵌入式应用支撑层。

2.2.1 嵌入式实时操作系统

采用嵌入式实时操作系统(Real-Time Operating System, RTOS)作为嵌入式系统的软件底层,在RTOS的基础上可方便地实现多任务编程,各任务独立运行且可以互相通信。RTOS通过任务调度为各任务分配CPU,一个任务被破坏不会使其他任务异常。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分解为多个任务,每个任务模块的调试、修改几乎不影响其他模块。

目前,可供选择的操作系统很多,如vxWorks, pSOS, nuclear, QNX, FreeRTOS等,其中 μ C/OS-II^[11]具有源代码公开、可移植性、可固化性、可裁剪性、可剥夺性、多任务、可确定性、有任务栈、系统服务、中断管理、稳定性与确定性等优点,用作继电保护装置的操作系统可开发出高效稳定的软件,提高装置的可靠性,降低开发成本,缩短开发时间和调试时间。虽然在系统中嵌入 μ C/OS-II会增加系统开销,即额外的ROM/RAM开销和CPU负荷,但 μ C/OS-II引起的CPU额外负荷一般在5%以下,而且系统中使用了外扩的RAM和ROM,因此使用 μ C/OS-II不存在问题^[12-14]。

对继电保护装置来说,响应速度是最重要的性能之一,而响应速度一般用跳闸出口时间来衡量,跳闸出口时间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。因此为了适应于高实时性的继电保护应用,在RTOS中将任务按照实时性要求划分了三个级别:快速运行级、慢速运行级、用户运行级。

1) 快速运行级需要极快的响应时间,在模拟量采样中断中实现,系统频率和每周波采样点数确定的前提下,其调用时间间隔是确定不变的,例如对于50 Hz系统每周波24点采样情况下,每0.833 ms执行一次。并且采样中断的中断优先级是最高的,它的执行不会被其他中断或任务打断,采样中断一旦触发,RTOS就会马上中止当前正在执行的程序,跳转到采样中断入口地址开始执行,并直到本次采样中断全部执行完成才会释放对CPU的控制权。在快速运行级中主要完成AD采样、开入采集、开出处理、时钟处理、GPS校时处理、保护量计算以及保护逻辑处理等对时间要求和响应速度要求比较高的任务。这里需要说明的是,虽然时钟处理和GPS校时处理是在0.833 ms定时中断进行调用的,但是配合CPU的TICK计数器可以做到很高的时间精度。

2) 慢速运行级设置为在10 ms定时中断中调用,主要用来完成对时间要求一般的保护逻辑和控制逻辑,例如遥控处理、测量量计算等。

3) 用户运行级在RTOS的任务调度由系统调用,并根据各任务的重要性划分多个调度优先级,主要用于对时间要求比较低或者对时间基本没有要求的功能调用,例如HMI人机交互任务、外部通讯任务等。

2.2.2 嵌入式应用支撑层

嵌入式应用支撑层运行于嵌入式实时操作系统RTOS之上,为集成开发环境开发出来的保护逻辑执行程序提供较底层的支持,同时也完成保护装置正常运行所需要的一些基本功能。

嵌入式应用支撑平台与逻辑功能模块相对独立,逻辑功能模块是用于实现保护功能的一块独立的可执行代码段,其正常运行需要嵌入式应用支撑层的支持。逻辑功能模块运行时的输入数据由支撑层提供,例如各通道采样值、当前开入状态、定值、设置、外部命令等重要信息;同时逻辑功能模块的计算结果也需要通过支撑平台反应到装置,例如跳闸指令、遥测计算结果、开出状态等;并且保护逻辑功能模块的各保护逻辑的运行,都是通过支撑平台对其的调用来实现的。

图3显示了嵌入式操作系统、嵌入式应用支撑层和保护逻辑模块三部分之间的层次关系。RTOS运行于最底层,主要负责中断管理和任务调度。在触发采样中断后,RTOS会跳转到采样中断执行,然后调用嵌入式支撑层的AD采样处理、开入处理、开出处理以及GPS校时处理等模块,嵌入式应用支

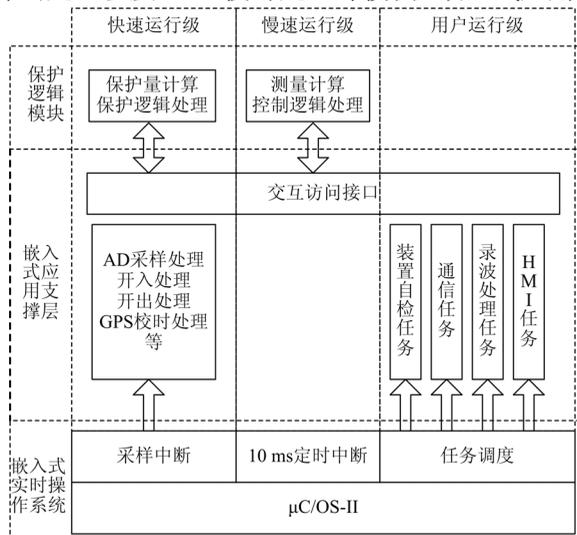


图3 嵌入式支撑平台层次关系

Fig.3 The hierarchical relationship among embedded platform

撑层在这些处理完成后,会通过交互访问接口运行保护逻辑模块的保护量计算和保护逻辑处理,如此即完成了快速运行级的执行;在触发 10 ms 定时中断时,如果此时 RTOS 不在采样中断中,则会跳转到 10 ms 中断进行处理,嵌入式应用支撑层同样会通过交互访问接口运行保护逻辑模块中的控制逻辑和测量计算处理,如此即完成了慢速运行级的执行;当 CPU 的控制权未被中断处理所占用时,RTOS 会自动进行任务调度管理,根据任务优先级依次调度装置自检任务、通信任务、录波处理任务和 HMI 人机交互任务,如此,即完成了用户运行级的执行。

2.3 硬件设备驱动层

硬件设备驱动层是装置低层硬件的操作接口,包括采样值读取、开入读取、置开出、EEPROM 数据读写、LCD 液晶显示、按键读取、通信接口等直接与硬件相关的操作。通过硬件驱动层的封装,可以使其上的各软件层与硬件做到相对独立,如果移植到其他硬件平台,可以通过简单的更改驱动层代码即可实现。

通过硬件设备驱动层的应用,可以较大程度实现软件的硬件平台无关性,提高了软件系统的可移植性和可复用性。

3 软件平台的应用和移植

本文中的软件平台主要是基于单 CPU 架构进行设计的,保护逻辑处理、通信处理、HMI 人机交互处理等任务均在同一 CPU 中完成计算,这样的平台架构可以在保证保护性能和可靠性的同时尽量地节省装置成本。但是在针对较高电压等级应用或电力企业用户对保护装置要求较高的情况下,单 CPU 架构将不能满足要求,此时就需要应用双 CPU 甚至多 CPU 的硬件架构,针对这种情况,嵌入式支撑平台只需做简单的调整即可适用:将通信处理和 HMI 人机交互从保护 CPU 剥离到管理 CPU 运行,同时保护 CPU 增加与管理 CPU 进行内部通信的处理任务。

在本软件平台中,HMI 液晶显示部分是基于 $\mu C/GUI$ 进行开发的,并已经实现了 240×128 液晶分辨率的支持,当应用于其他分辨率时,需要对 HMI 部分代码进行修改。本软件平台的对外通信已经实现了对 CAN、RS485 以及 Profibus 接口硬件的支持,当需要提供 Lonworks、以太网等通讯支持时,还需要后期进一步开发。

4 结语

本文提出了一种基于图形化编程的继电保护软

件开发平台,并介绍了该软件开发平台的系统架构和设计方案。利用本平台,基于 TI 公司 32 位浮点 DSP 及 ADI 公司 32 位定点 DSP 硬件,已经开发出了多种产品,其中基于 ADI 公司 32 位定点 DSP 硬件已经开发出了系列化的针对 35 kV 及以下电压等级的继电保护装置,包括线路保护、变压器保护、电动机保护等,并已开始推向市场。

参考文献

- [1] 卢娟,李兆成,陈钢杰,等.保护与测控领域通用可视化平台的设计与实现[J].电力系统自动化,2005,29(4):58-61.
LU Juan, LI Zhao-cheng, CHEN Gang-jie, et al. Design and implementation of a universal visual platform in protection and M&C fields[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 58-61.
- [2] 张云,尹秋帆,胡道徐.继电保护装置开发平台软件系统架构与设计[J].电力系统及其自动化学报,2005,17(4):20-23.
ZHANG Yun, YIN Qiu-fan, HU Dao-xu. Software architecture and design of the development platform for protective relay[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2005, 17(4): 20-23.
- [3] 李轶群,吴国殇,张涛.基于模块的可编程保护装置软件设计新概念[J].电力系统自动化,2002,26(15):66-69.
LI Yi-qun, WU Guo-yang, ZHANG Tao. The new software design method of module-based programmable digital relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(15): 66-69.
- [4] 王胜,王家华,兰金波.图形化保护的原理与实现[J].电力自动化设备,2004,24(2):76-78.
WANG Sheng, WANG Jia-hua, LAN Jin-bo. Theory and implementation of graphic protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(2): 76-78.
- [5] 张爱民,蒋刚,张连原,等.软 PLC 的设计思想在继电保护装置中的应用[J].高压电器,2007,43(6):444-447.
ZHANG Ai-min, JIANG Gang, ZHANG Lian-yuan, et al. Application of design of soft PLC in relay protection equipments[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 444-447.
- [6] 黄海悦,缪欣,权宪军,等.基于元件化和可编程逻辑构建的继电保护平台[J].继电器,2006,34(14):11-14.
HUANG Hai-yue, MIAO Xin, QUAN Xian-jun, et al. Relay protection platform based on elemental and programmable logic[J]. Relay, 2006, 34(14): 11-14.
- [7] 田志国,易永辉,刘崇新,等.基于 FPGA 的微机保护图形化编程设计[J].继电器,2006,34(1):15-17,45.

(下转第 147 页 continued on page 147)

- QUAN Hui-min, DAI Yu-xing. Power quality disturbances classification based on generalized S-transform and decision tree[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2009, 36 (4): 43-47.
- [38] 全惠敏, 王炼红, 戴瑜兴. 采用广义 S 变换的电能质量扰动免疫分类算法[J]. 高电压技术, 2009, 35 (9): 2880-2885.
- QUAN Hui-min, WANG Lian-hong, DAI Yu-xing. Power quality disturbances classification using generalized S-transform and artificial immune[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35 (9): 2880-2885.
- [39] 易吉良, 彭建春. 基于广义 S 变换的短时电能质量扰动的模糊模式识别[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (22): 20-25.
- YI Ji-liang, PENG Jian-chun. Short duration power quality disturbances fuzzy pattern recognition using generalized S-transform[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (22): 20-25.
- [40] Biswal B, Dash P K, Panigrahi B K. Non-stationary power signal processing for pattern recognition using HS-transform[J]. Applied Soft Computing, 2009, 9 (1): 107-117.
- [41] Pinnegar C R, Mansiha L. Time-local spectral analysis for non-stationary time series: the S-transform for noise signal[J]. Fluctuation and Noise Letters, 2003, 3 (3): 357-364.
- [42] 易吉良, 彭建春, 谭会生. 基于改进 S 变换估计电能质量信号的噪声水平[J]. 电网技术, 2009, 33 (20): 71-75.
- YI Ji-liang, PENG Jian-chun, TAN Hui-sheng. Noise estimation of power quality signal based on modified S-transform[J]. Power System Technology, 2009, 33 (20): 71-75.

收稿日期: 2010-02-12; 修回日期: 2010-04-05

作者简介:

易吉良 (1972-), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为电能质量分析和信号处理; E-mail: jiliang-yi@sina.com

彭建春 (1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统及其自动化专业的教学和研究工作;

谭会生 (1966-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事电子信息 and 计算机应用专业的教学和研究工作。

(上接第 104 页 continued from page 104)

- TIAN Zhi-guo, YI Yong-hui, LIU Chong-xin, et al. Application of FPGA graphic oriented programming in protective relay[J]. Relay, 2006, 34(1): 15-17, 45.
- [8] IEC 61131-1 programmable controllers, part 1: general information[S]. 1992.
- [9] IEC 61131-3 programmable controllers, part 3: programming languages[S]. 2003.
- [10] IEC 61131-8 programmable controllers, part 8: guidelines for the application and implementation of programming languages[S]. 2000.
- [11] Lbrosse J J. 嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II [M]. 2 版. 邵贝贝, 译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- Lbrosse J J. MicroC/OS-II the real-time kernel [M]. Second edition. SHAO Bei-bei, trans. Beijing: Publishing House of Beihang University, 2003.
- [12] 鲁炜, 靳希. 基于实时操作系统的继电保护软件设计[J]. 继电器, 2003, 31 (11): 48-51.
- LU Wei, JIN Xi. Protection relay software designing based on real-time operation system[J]. Relay, 2003, 31 (11): 48-51.
- [13] 徐天奇, 游大海, 李程, 等. 基于 μ C/OS-II 实时操作系统的发电机微机继电保护装置[J]. 电网技术, 2005, 29 (16): 71-75.
- XU Tian-qi, YOU Da-hai, LI Cheng, et al. A micro-computer based relaying protection device for generator based on μ C/OS-II[J]. Power System Technology, 2005, 29 (16): 71-75.
- [14] 王义刚, 许云峰, 张迎春. 基于实时多任务操作系统的微机线路保护装置的研究[J]. 继电器, 2004, 32(8): 56-59.
- WANG Yi-gang, XU Yun-feng, ZHANG Ying-chun. Microcomputer-based line protection development based on real-time operation system[J]. Relay, 2004, 32(8): 56-59.

收稿日期: 2010-02-02; 修回日期: 2010-03-30

作者简介:

仲伟 (1978-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: flyeagle@gmail.com

丁宁 (1978-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护;

吴参林 (1980-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护。