

基于 FPGA 的微机保护图形化编程设计

田志国¹, 易永辉², 刘崇新¹, 赵志华^{3,4}, 张道峰³, 邱仁祥³, 文耀宽⁵, 张宏林⁶

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027;

3. 许继保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000; 4. 重庆工商大学计算机科学与信息工程学院, 重庆 400067;

5. 漯河电业局, 河南 漯河 462000; 6. 安阳电业局, 河南 安阳 455100)

摘要: 介绍了 FPGA 等大规模可编程逻辑器件的特点; 针对现有微机保护产品开发手段的不足, 提出并分析了采用 FPGA 实现低技术门槛、低成本、高可靠性微机保护图形化编程设计的方法, 并陈述了图形化编程的具体实现过程; 此方法与 CPU 基本无关, 适用于各档次 CPU 图形化编程保护产品的设计开发。

关键词: FPGA; 模块化编程; 图形化编程

中图分类号: TM774

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2006)01-0015-03

0 引言

我国电力系统微机保护的发展经历了从 8 位机、16 位机到 32 位机的历程, 微机保护原理的发展也日臻成熟; 但绝大部分应用产品的开发手段仍然为传统的手工编程, 保护逻辑广泛采用先启动后分类按顺序依次处理的串行处理模式^[1], 保护逻辑分支复杂、难以完全验证。而国外 ABB、GE、日立等公司采用了图形化编程的先进的开发模式。这种先进的开发模式, 可以大幅度减少甚至避免人工编写源代码的工作, 产品实现过程比较透明直观、快捷、可靠, 客户对产品功能实现过程易于理解, 维护简单方便。相比之下, 传统的编程模式在可维护性、继承性、可靠性方面存在一定差距。本文提出了一种基于成熟的 FPGA 开发平台, 实现微机保护产品的图形化编程的方法, 从而提高了产品的开发手段, 改善了产品的继承性、可靠性等。

1 FPGA 的特点及在电力系统微机保护中的应用现状^[2,3]

FPGA 是近十几年来异军突起的大规模可编程逻辑器件, 它集成的逻辑单元数量庞大, 单片 FPGA 可实现以前几十甚至上千块通用 IC 芯片的功能。FPGA 的使用也简单、方便, 其静态可重复编程和动态在系统重构的特性, 使得硬件的功能可以像软件一样通过编程来修改, 可以极大地提高系统设计的灵活性和通用性。目前, 国内外的重要电力系统微机保护厂家如 SIEMENS、南瑞、许继等, 在其硬件平台设计中也普遍采用了 FPGA 或 CPLD, 但主要只用于实现 CPU 与其它芯片的接口和辅助控制, 并未充分利用其内部资源。

2 现有微机保护产品设计现状

目前, 国内有为数不多的具备强大技术实力的公司通过开发一种专用的将图形转化为代码的组态软件, 在保护产品的设计过程中采用了与 ABB、日立等公司类似的图形化开发方法。其产品的逻辑功能与装置硬件弱关联, 应用工程师在图形化界面中完成保护产品部分甚至全部保护功能组态设计。这种开发方法具有如前所述的各种优点, 其缺点是图形化开发平台规划、开发门槛很高, 投入巨大。而且对硬件平台的资源 (CPU 的数据处理能力、存储器容量等) 也有较高要求, 不适合所有的公司及一般保护控制类产品 (如小型电动机保护、馈线保护等)。

国内保护目前广泛采用的软件设计思想是, 保护功能的实现采用先进行启动判别, 然后根据判别结果对故障进行分类处理的方法。故障处理程序中, 下一步的执行路径取决于上一步的执行结果, 因此逻辑分支非常复杂, 难以完全验证, 容易留下隐患。而且, 在串行方式的故障逻辑处理中, 任一环节出现错误 (例如模拟量由于受到瞬时严重干扰而导致所采集的数据失真) 将可能导致错误的结果。

3 扩展 FPGA 应用, 实现低成本图形化编程

如前所述, 保护软件开发图形化有一系列优点, 但由于图形化设计软件平台的开发难度大, 因此在国内保护厂家中普及率还非常低。由于 FPGA 的资源庞大和在系统可编程能力, 可用于实现保护 CPU 的逻辑处理功能并满足应用逻辑修改的需要。而 FPGA 的图形化输入是 FPGA 厂商提供的标准输入工具之一, 经历了十几年广泛的实践检验, 是非常成

熟可靠的软件开发平台。所以基于 FPGA 的保护图形化设计的技术门槛大幅度降低,几乎可以适用于所有保护厂家及各种保护、控制产品。

4 FPGA 实现逻辑处理的具体方法

程序采用模块化编程的方法,将保护设计的模拟部分和逻辑部分从功能上分离。模拟部分完成 AI(Analog Input)数据采集、测量处理、软继电器模块运算等功能;逻辑部分完成保护逻辑判别和出口处理,并生成告警或故障标志位。模拟部分和逻辑部分在功能上完全独立,通过专用的缓冲器交换数据。模块化编程方式得以实现保护的并行处理,并行处理软件示意图如图 1。

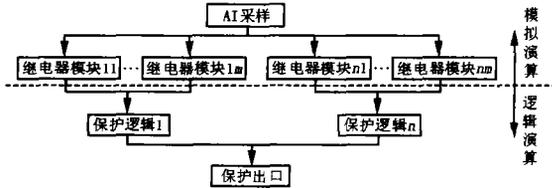


图 1 并行处理示意图

Fig 1 Diagram of collateral disposal

实际应用中由 FPGA 完成图 1 中的逻辑演算功能。所有保护的模拟演算由 CPU 完成,软件继电器产生各自的动作标志位,多个继电器的标志位合成一个标志字。CPU 将所有的标志字发送到 FPGA 片内 Buffer,成为 FPGA 内部各保护所需逻辑组合的初始输入量,FPGA 完成逻辑组合后调用内部的计时器模块进行延时出口,从而完成完整的保护功能。实现 FPGA 保护逻辑判断功能的原理示意图如图 2。

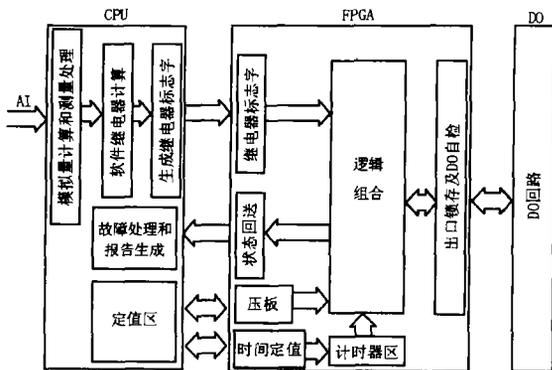


图 2 装置原理示意图

Fig 2 Schematic diagram of protective relay

FPGA“逻辑组合”单元读取 CPU 送入“继电器标志字”Buffer 内的各软件继电器标志位,同时读取“压板”Buffer 内的软、硬压板状态,按照保护的要求

完成复杂的逻辑组合,调用“计时器区”按照“时间定值”确定的各段延时出口计时模块延时出口,通过“出口锁存”单元驱动相应的 DO 回路,并将逻辑组合结果暂存到“状态回送”Buffer 中供 CPU 回读。

CPU 在每一次采样中断周期中先读取 AI,对 AI 进行处理,将当前各继电器模块如过流、过压、方向等的运算结果组合到一起,生成继电器标志字,发送到 FPGA 的“继电器标志字”Buffer 中,随后读取保护逻辑“状态回送”Buffer 中的结果,并填入到相应的故障、事件、告警报告处理标志位中,作为报告处理用。实现图形化编程的 CPU 采样中断程序和 FPGA 的程序流程分别见图 3 和图 4。

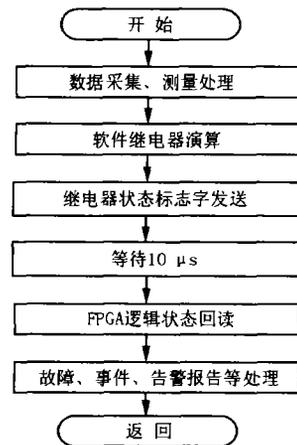


图 3 CPU 采样中断程序流程

Fig 3 Diagram of CPU sample interrupt flow

用 FPGA 图形化编程完成保护逻辑处理的界面如图 5,图中实现的是复合电压过流 I 段的逻辑组合。

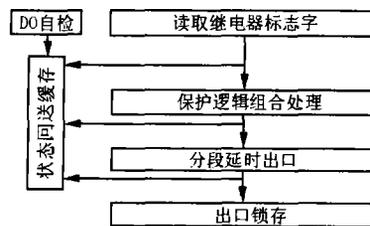


图 4 FPGA 程序流程图

Fig 4 Diagram of FPGA process flow

中间生成了填写报告所需要的故障、事件、告警标志位。

由于所有保护功能的逻辑演算是以 FPGA 硬件的方式同时完成,实现了真正意义上的并行处理,便于验证、可靠性高;而且,由于 FPGA 的硬件快速性,将原本可能需要微秒甚至毫秒级时间才能处理完成的任务提前到纳秒级时间完成。

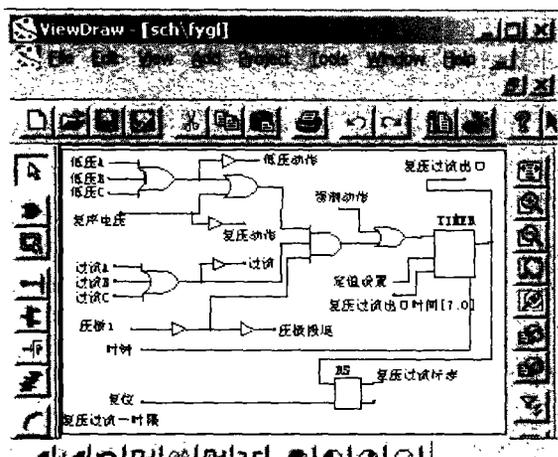


图 5 图形化编辑界面

Fig 5 Graphical editing interface

此外,用 FPGA 去完成部分本该由 CPU 去完成的并且计算量较大的工作,实际上相当于提升了 CPU 的性能,降低了对 CPU 数据处理能力的要求(基于组态软件的图形化编程方法要求功能强大的 32 位 CPU 支撑),因此本方法甚至可以适用于 16 位 CPU 系统。另外, CPU 解脱了逻辑组合演算要求,其程序的设计也可以逐渐标准化。而且 FPGA 的升级相对简单,同一系列的 FPGA,其新产品与旧产品在封装和程序代码上一般是完全兼容的,只是速度不同和资源差异而已,这些特点又增强了微机保护产品的维护性、可继承性。

现代微机保护的开发都是基于统一硬件平台的概念,不同厂家都开发出自己的硬件平台,再在自己的硬件平台上进行不同的软件开发从而开发出不同的保护产品。这些共用硬件平台的产品一般为线路保护、变压器保护、馈线保护和备自投装置,某些厂家甚至连复杂的发变组保护也采用类似相同的硬件平台。所以,基于 FPGA 的图形化编程技术可以适用于以上所有产品的开发。由于 FPGA 擅长进行逻辑处理的特点,此技术在用于逻辑运行量较大的线路保护和馈线保护及备自投产品开发时会带来更大的便利。

Application of FPGA graphic oriented programming in protective relay

TIAN Zhi-guo¹, YI Yong-hui², LU Chong-xin¹, ZHAO Zhi-hua³, ZHANG Dao-feng³,
QU Ren-xiang³, WEN Yao-kuan⁵, ZHANG Hong-lin⁶

- (1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
3. XI Protection and Automation Business Department, Xuchang 461000, China; 4. Chongqing Industrial
and Commercial University, Chongqing 400067, China; 5. Luohe Electric Power Bureau,
Luohe 462000, China; 6. Anyang Electric Power Bureau, Anyang 455100, China)

Abstract: This paper introduces the feature of FPGA or other VLSI Programmable Logic Devices. Aiming at the shortage of the existing protective relay developing means, it proposes and analyses a method of adopting FPGA to realize the low technique threshold, low

(下转第 45 页 continued on page 45)

5 结语

本文针对现有微机保护产品开发手段的不足,借用在电子设计领域广为采用的大规模可编程逻辑器件的开发经验,提出并分析了实现图形化编程的一种方法。由于 CPLD 与 FPGA 的共同特点,CPLD 同样适用于本文的技术应用。此图形化编程方法与 CPU 选型基本无关,具有技术门槛低、成本低、可靠性高的优点,可广泛应用于从 16 位到 32 位机各档次微机保护产品的开发。

参考文献:

- [1] 易永辉,程时杰,何晓峰,等.一种基于图形化编程技术的馈线保护装置的研制[J].继电器,2003,31(11):52-54.
YI Yong-hui, CHENG Shi-jie, HE Xiao-feng, et al. Development of a Protective Relay for Feeders Based on the Graphic Oriented Programming Technique [J]. Relay, 2003, 31(11): 52-54.
- [2] 宋万杰,等. CPLD 技术及其应用 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
SONG Wan-jie, et al. Technique and Application of CPLD [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1999.
- [3] 徐志军,等. CPLD /FGPA 的开发与应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2002.
XU Zhi-jun, et al. Design and Application of CPLD /FP-GA [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.

收稿日期: 2005-05-08; 修回日期: 2005-08-08

作者简介:

田志国 (1972 -), 硕士生, 从事继电保护产品和微机保护硬件平台开发工作; E-mail: zhiguot@sohu.com

易永辉 (1969 -), 博士生, 高级工程师, 主要从事电力系统分析、控制等;

刘崇新 (1953 -), 男, 教授, 主要从事电路分析与控制系统的非线性建模与分析的研究。

损成本总和等于整个输电网的网损成本,能够完全回收由电能损耗引起的成本。

4) 该方法当双边交易个数较多时,手算计算量较大,但用计算机编程计算非常易于实现,所以该方法具有一定的实用性。应用本文方法也对 IEEE30 节点系统进行了计算,结果准确。

参考文献:

- [1] 刘梓洪,程浩忠,刘晓冬,等. 电力市场网损分摊方法综述[J]. 继电器, 2004, 32(7): 70-76
LIU Zi-hong, CHENG Hao-zhong, LIU Xiao-dong, et al Review of Loss Allocation Methods in Power Market[J]. Relay, 2004, 32(7): 70-76
- [2] 胡朝阳,韩祯祥. 基于 Shapley 值的网损分摊新方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(7): 32-35.
HU Zhao-yang, HAN Zhen-xiang A New Shapley Value Based Method for Allocation of Transmission Losses[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(7): 32-35.
- [3] 乔振宇,陈学允,张粒子,等. 功率分解潮流计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 77-79.
QIAO Zhen-yu, CHEN Xue-yun, ZHANG Li-zi, et al A New Concept of the Separation of Electrical Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(1): 77-79.
- [4] 江辉,彭建春,欧亚平,等. 支路损耗分摊方法在输电网损公正分配中的应用[J]. 电网技术, 2003, 27(6): 7-12
JIANG Hui, PENG Jian-chun, OU Ya-ping, et al Appli-

cation of Branch Power Loss Allocation Method in Fair Allocation of Transmission Power Losses[J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 7-12.

- [5] 彭建春,刘卫华,陈景怀,等. 面向全电网用户的输电费用分配模式与仿真研究[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(22): 13-15.
PENG Jian-chun, LIU Wei-hua, CHEN Jing-huai, et al Modes and Simulations of User-oriented Transmission Cost Allocation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(22): 13-15.
- [6] 乔振宇,陈学允,张粒子,等. 基于电流共轭的转运网损成本分摊方法[J]. 电网技术, 2003, 27(2): 76-79.
QIAO Zhen-yu, CHEN Xue-yun, ZHANG Li-zi, et al A Research on Cost Allocation of Transmission Loss in Electricity Market[J]. Power System Technology, 2003, 27(2): 76-79.

收稿日期: 2005-05-16; 修回日期: 2005-08-22

作者简介:

李秀琴(1975-),女,硕士研究生,从事电力市场、继电保护方面的研究工作; Email: lixiuqin@163.com

李晓磊(1981-),男,博士研究生,从事电力系统分析与控制的研究;

彭茂君(1981-),女,硕士研究生,从事电力系统分析与控制方面的研究;

宋家骅(1939-),男,教授,博士生导师,长期从事电力系统稳定分析与控制领域的教学与科研工作。

A loss allocation method in electricity markets with different transaction modes coexisted

LIXiu-qin¹, LIXiao-lei², PENG Mao-jun³, SONG Jia-hua³

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China; 3. Northeast Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: A method of loss allocation is presented in electricity market coexisting with different transaction modes such as Pool transaction mode, bilateral transaction mode and multilateral transaction mode. The method is based on the separation of current. Each transaction is described by corresponding current, and the loss that should be borne by each transaction is calculated with the method of loss component allocation. Then, the previously determined loss of Pool transaction mode or multilateral transaction mode is further allocated to all of the generators and loads that take part in the transaction. A half of loss cost of each transmission element is allocated to generators, and the other half is allocated to loads. Analysis of 5-bus system shows that the proposed method is correct and reasonable.

Key words: electricity market; different transaction modes coexisted; method of loss component allocation; separation of current

(上接第 17 页 continued from page 17)

cost, and high dependability graphic oriented programming design in protective relay. A practical implementation method of graphic oriented programming in protective relay is presented. This method hardly depends on CPU, thus can be used in graphic oriented programming design of CPUs in a flexible scope functions.

Key words: field programmable gate array; modular programming; graphic-oriented programming