

# 基于 Matlab 的可编程逻辑微机保护的研究

石红杰, 乐秀璠, 徐懂理

(河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 目前在低压微机保护装置中, 基于可编程逻辑的微机保护的应用是越来越多。这种微机保护平台, 提高了微机保护装置的可靠性、灵活性、实用性、可扩展性和可移植性, 大大缩短了产品的开发周期, 同时有效解决了微机保护装置的工程化问题。在分析了目前常见的可编程逻辑微机保护之后, 提出了一种新的基于 Matlab/Simulink 工具软件和 DSP 相结合的可编程逻辑微机保护的设想, 这种方法预期有更高的灵活性, 更短的产品开发周期。

**关键词:** 可编程逻辑; 微机保护; 功能块; Matlab/Simulink; DSP

## Research of programmable logic microprocessor-based protection based on Matlab

SHI Hong-jie, LE Xiu-fan, XU Dong-li

(School of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In the current low-voltage microprocessor-based protection devices, those microprocessor-based protective devices are more and more based on the application of programmable logic. This microprocessor-based protection platform will enhance the microprocessor-based protective devices' reliability, flexibility, practicality, scalability and portability, greatly shorten the product development cycle, while can solve the engineering problems of microprocessor-based protective devices. Based on the analysis of the current common programmable logics of microprocessor-based protection, this paper proposes a new method of programmable logic microprocessor-based protection based on Matlab / Simulink tools and DSP, this method will have higher flexibility, shorter product development cycle.

**Key words:** programmable logic; microprocessor-based protection; function block; Matlab/Simulink; DSP

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0082-04

## 0 引言

常见的微机保护通常是将所需的保护功能集成为一个保护装置中来实现, 一旦保护程序编制完成, 各种保护功能之间的相互配合和保护的算法就固定不变了。如果需要实现新的保护功能时就必须更改源程序, 这种做法不仅无法满足软件工程化的需求, 而且需要专门的开发人员对程序进行修改和维护。上述现象会带来诸如下列的问题: ①新增保护功能的开发需要占用大量的时间和人力资源; ②同一型号保护装置程序版本繁多, 容易混乱; ③由于编程时间比较紧张, 可能会因为测试不周详而将有缺陷的软件用到现场而产生意外的问题; ④当用户的要求没有及时得到满足时, 就会导致用户的满意度下降, 等等。

传统的继电器保护, 主要是由各种具有独立功能的继电器通过给定的保护逻辑连接而构成的(如图1所示的普通过流保护), 从而可以满足相应的保

护功能, 这给实际的应用带来了非常大的灵活性、直观性和开放性, 但是继电器保护的缺点就是, 随着时间、环境的变化, 这种方式使得调试和维护的工作量变得很大。遗憾的是当人们采用了微机保护装置后, 原来保护方式模块化的优点并没有被继承下来, 也就造成了微机保护灵活性的下降。为此, 人们提出了基于可编程逻辑的微机保护概念<sup>[1,2]</sup>。

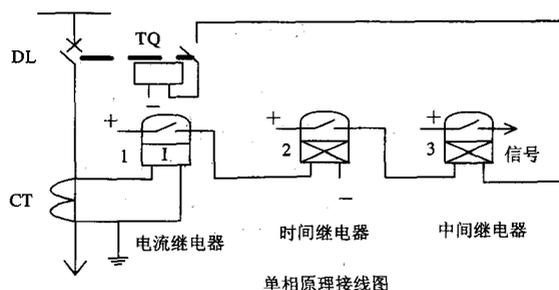


图1 传统继电器保护原理图

Fig.1 Traditional relay-protection principle

## 1 可编程逻辑保护的可行性

微机保护大致可以被分为两大组成部分:硬件部分和软件部分。基于可编程逻辑的微机保护的出发点就是:在相同硬件平台的基础上实现各种保护功能,如:普通的线路保护、变压器保护、电动机保护,等等。工程调试人员所要做的就是在可视化的界面上将选择合适的保护功能块,然后按照正确的保护逻辑连接好,再将它下装到微机保护装置的硬件中来实现保护功能。

随着微电子技术的飞速发展,微处理器的性能有了很大的提高,作为微机保护系统硬件核心的 CPU 变得更加廉价和快速,存储器的容量也越来越大,各种元器件的性能也更加稳定了,从而使微机保护的硬件平台性能更高,可以实现更多的功能和更好的算法,而不再受限于硬件的速度,我们在开发微机保护的程序时,就可以考虑如何使程序更好地适用于多种情况,如何在不改动原有程序的情况下使保护装置能够适应新的情况;可以采用较为复杂的编程方法,使用对硬件要求较高的算法,以实现程序的灵活性。也就是说,现在硬件的发展已经为我们提供了一个足够强大的平台,使微机保护软件实现可编程逻辑功能成为可能。并且,经过很多年的发展,原有经典的继电器保护原理用于微机保护上已积累了很多成功的经验。

## 2 可编程逻辑的发展<sup>[1]</sup>

在早期的微机保护中,人们就希望能够通过就地的小键盘或通信协议对保护逻辑进行编程,由于受当时条件的局限,如果将这种原理应用于可编程逻辑,可编程语言供选择的种类就会变得非常有限,最后形成的解决方案是非常不友好的用户界面。于是有人提出了将经典保护原理作为一个个的标准元件,然后根据需要选用已有标准元件来实现微机保护动作逻辑,这种做法必将有利于产品开发和各种功能的分配组合。可编程逻辑因其很强的灵活性而著称,可以将其用于工程现场,进行各种功能重组,从而可以灵活地满足工程化的需求。到目前为止,可编程逻辑的发展大致分了三个阶段:基于 DOS 系统的驱动命令界面的平台、基于 Windows 的文本菜单界面的平台、可视化的图形操作界面平台。

## 3 常见的可编程逻辑微机保护

由于可编程逻辑在微机保护领域中有着广泛的应用前景,能够极大地提高保护装置的灵活度,因此,无论是国内还是国外的微机保护领域,都加

大了对这种新概念微机保护的研究力度。各家产品的主要区别在于可编程逻辑实现的方法上,如:许继的可编程逻辑微机保护的实现方式,在微软的 VISIO 软件平台上绘制各种需要的保护图元来组成逻辑框图,然后调用专业的应用软件来自动生成源程序,再用计算机进行编译,生成可执行程序<sup>[3]</sup>;国电南自的可视化编程实现是先通过可视化软件将逻辑图输入,然后根据图论学的原理来解析逻辑图,形成编译文件下传到保护装置,最后在保护装置中实现程序运算<sup>[4]</sup>。还有一些相关应用比较多的是自备投装置<sup>[5,7]</sup>,不少厂家都开发了可视化的动作逻辑可编程的装置,实现这种逻辑一般比较简单。国电自动化研究院/南瑞集团已经开发了专门的装置,电源自备投的动作逻辑在该自备投保护装置中是通过在 LCD 上来编辑自备投的动作方程来实现<sup>[5]</sup>;目前常见的可编程逻辑保护比较多的是采用 IEC61131-3 标准来规范化微机保护的可编程序功能<sup>[6,7]</sup>。

## 4 用 Matlab/Simulink 实现可编程逻辑保护的可行性

由于可视化界面的软件平台与保护程序所采用的编程语言不同,可视化界面通常用 VC++ 或 VB 来设计,而保护程序则是用 C 语言或汇编语言实现,因此保存的逻辑关系文件被下载到保护装置上之后,不能直接与保护装置的底层程序对接,因此需要下位机上开发解析程序,来翻译该逻辑关系,实现保护功能;或者就是下载到装置中之前对逻辑图文件进行翻译,再编译下载到装置中,这一步是不能避免的;微机保护中的算法起着至关重要的作用,好的算法不仅能提高精度,而且可以提高装置的速度,在保护软件中开发相关算法的代码量也比较大。相对上面提出的这些不足之处,本文提出了一种基于 Matlab/Simulink 与 DSP 相结合的可编程逻辑微机保护软件开发的新方法。

Matlab 与其它计算机语言相比,有着很多的优点:Matlab 的编程语言具有语句简洁,编程效率高的优点;Matlab 内部集成了很多算法(如微机保护中广泛应用的 FFT)和工具箱,而且随着软件版本的提高,集成的算法和工具箱会越来越多,当然也可以自己很方便地开发实现它还没有的一些算法,这让其在许多应用领域有着天然的优势;强大而简易的绘图功能,有效方便快捷的矩阵和数组运算,直观便捷的动态仿真,扩充能力强,还有很重要的一点就是 Matlab 还提供了应用程序接口函数<sup>[8]</sup>,允许用户使用 C/C++ 或 FORTRAN 语言编写的程序与 Matlab

连接。如今，DSP 大都是用 C 语言进行程序设计，而在 Matlab 的实时环境中，可以将(.mdl)格式的功能模块转换成高效的 C 语言文件然后移植到 DSP 芯片中，在下文有比较详细的叙述。为此，这为用 Matlab 来实现可编程逻辑微机保护开发的设想提供了理论和实际上的可行性。

## 5 保护的实现步骤

### 5.1 构建保护功能块

利用 Matlab/Simulink<sup>[9]</sup>构建保护功能块非常方便，Matlab/Simulink 中提供了各种逻辑、时间、控制和算法元件等等，包含了所有实现微机保护所需要的图元，如图 2 就是利用 Matlab 中已有的图元实现 PT 断线报警的原理框图。对外而言，从这个原理图上看到的仅仅是实现功能所需的输入量(3 相电压、3 个线电压、3 相保护电流和计算零序电压)，时间继电器，以及告警信号的输出端。然而，内部却集成了 PT 断线的判断条件：a) 三相电压均小于 8 V，某相(a 或 c 相)电流大于 0.25 A，判为三相断线；b) 三相电压和大于 8 V(计算  $3U_0$ )，最小线电压小于 16 V 判为两相 PT 断线；c) 三相电压和大于 8 V(计算  $3U_0$ )，最大线电压与最小线电压差大于 16 V，判为单相 PT 断线；然后延时 5 s 再将信号输出。将图 2 展开后就得到图 3 所示的三个判断条件，而图 4 则是图 3 中 3 相 PT 断线判据的实现。

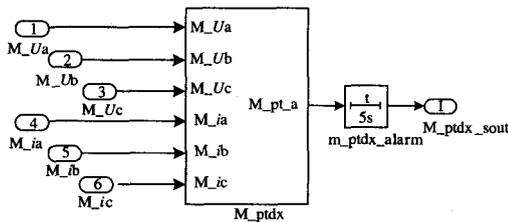


图 2 PT 断线功能块外观

Fig.2 Overview of the PT wire-break function block

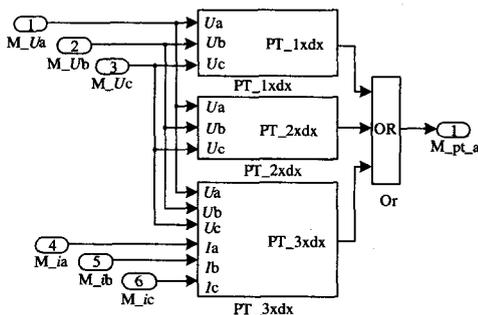


图 3 PT 断线内部构造

Fig.3 Internal structure of PT wire-break function block

本文中 PT 断线的判断逻辑功能块已经通过了 Matlab 的仿真，并且结果准确可靠。文中所举的示例实现的功能比较简单，目的只是为了体现利用 Matlab 构建保护功能块的便捷之处。当然，在 Matlab/Simulink 中构建一些功能比较复杂的继电器(如：差动继电器、距离继电器、阻抗继电器)也是比较容易实现，如文献[10]中所构建距离保护中的比相式阻抗继电器。

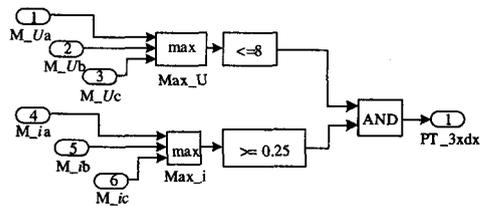


图 4 PT 三相断线的逻辑组成

Fig.4 Logic composition of 3-phase PT wire-break function block

### 5.2 功能块的翻译、移植和实验结果

功能块的翻译和移植是这种微机保护中非常关键的一步，而且由于这方面的应用相对较少，实现起来有一定的难度。

目前，Math Works 公司和 TI 公司联合开发了 Matlab Link for CCS Development Tools，提供了 Matlab 和 CCS 的接口，也就是说把 Matlab 和 TI CCS 以及目标 DSP 连接起来了。Matlab Link for CCS Development Tools 作为一个新的工具箱被集成在 Matlab 中，这给实际应用开发的调试和测试阶段提供了强大的支持，利用此工具可以像操作 Matlab 变量一样来操作 TI DSP 的存储器或寄存器；Embedded Target for TI C2000/C6000 DSP Platform 也是 Matlab 中面向 TI DSP 的一个非常有意义的产品，它为 TI DSP 实时应用开发的概念设计、算法仿真、源代码编写、目标代码生成、调试和测试都提供了强有力的支持。最关键的是，这些功能都是可视化的，也就是说可以在 Matlab/Simulink 环境中用图形化的方式进行 DSP 的设计、仿真实验和移植，而移植的关键就是能将设计的图形文件直接翻译成 C 语言。上面所提 Matlab 的功能就为功能块的翻译和移植提供了先决条件，且这种方法在滤波器的设计上已经得到比较多的应用(文献[11]就是应用之一)。

针对本文中所用的 PT 断线的例子，已经在 Matlab7.1 中生成了完整的 C 语言代码，通过了 TI 开发工具 CCS3.1 的编译，并且在合众达的 SEED\_DPS2812M V2.1 的开发板上进行了相关实

验,得到的结果和 Matlab 的仿真结果一致。

在实验过程中关键的是原始数据的获取,目前的做法是:电压电流的采集是用 DSP 外部的 AD 完成,而文献[11]中是用 TI 公司的 320F2812DSP 芯片自带的 AD 采样,这种做法对于要求采样精度比较高的场合就不合理了。然后在 DSP 芯片中对采样的数据进行处理和相关计算得到有效值、复数形式、有功无功、功率因素、频率、负序电压、负序电流、零序电流、计算零序电流,等等;将它们存放到指定的存储地址中,在进行逻辑判别过程中就是根据变量名自动从指定的地址中将数据取出关联到逻辑框图的各个输入量,以进行保护功能的逻辑判断,如图 2 中的各个量分别为计算出来的电压和电流的有效值,这些有效值均是存放在固定地址,只要从这个地址取这些值,然后就可以参加逻辑判断,从而得到相关结果。

## 6 结论和展望

本文提出的方法不仅继承了传统继电器保护的灵活性,并且与目前常见的可编程逻辑微机保护相比,有如下几个优点:①逻辑图绘制软件和解析工具(Matlab),以及编译软件(CCS)都是已有的成熟的软件;②构建逻辑图简捷方便;③算法更容易实现;④Matlab 强大的仿真功能给验证逻辑的正确性带来很大的方便。这种方法的不足之处就是:自动生成的代码比较大,需要对自动生成的代码进行优化,以节约程序的存储空间。

### 参考文献

- [1] 阎波.可编程逻辑在微机保护中的应用研究(硕士学位论文)[D].北京:北京交通大学,2007.  
YAN Bo.Study on Application of Programmable Scheme Logic in Microprocessor-Based Protection, Thesis[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2007.
- [2] 李轶群,吴国旻,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.
- [3] 赵志华.图形化编程与继电保护装置开发[J].电力自动化设备,2004,24(2):70-72.  
ZHAO Zhi-hua.Discussion of Graphical Programming and Protective Relay Development[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(2):70-72.
- [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] 姚成,朱金大,徐石明,等.由人机界面实现备用电源自投动作逻辑编程[J].电力系统自动化,2006, 30(4):102-104.  
YAO Cheng,ZHU Jin-da,XU Shi-ming,et al. Programming of the Automatic Bus Transfer Operation Logic by Man Machine Interface[J]. Automation of Electric Power Systems,2006, 30(4):102-104.
- [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] 刘冬梅,张兴文,金启超.可编程序技术用于微机保护的备用投装置[J].电气时代,2006,(12): 122-124.  
LIU Dong-mei,ZHANG Xing-wen,JIN Qi-chao. Programmable Skill Application in the Automatic Bus Transfer Operation of Microprocessor-based Protection[J]. Electric Times, 2006,(12):122-124.
- [8] 刘维.精通 Matlab 与 C/C++混合程序设计(第 2 版)[M].北京:北京航空航天大学出版社.  
LIU Wei. Proficient in Matlab and C /C++ Programming Hybrid(Edition Second)[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics.
- [9] 吴天明,谢小竹,彭彬.Matlab 电力系统设计与分析[M].北京:国防工业出版社,  
WU Tian-ming,XIE Xiao-zhu,PENG Bin.Design and Analysis Electric Power System by Matlab[M]. Beijing: National Defense Industry Press.
- [10] 杨兰,杨廷芳,陈众,等. Matlab/Simulink 在继电保护设计中的应用[J]. 电气传动自动化,2006,28(1): 53-55.  
YANG Lan,YANG Ting-fang,CHEN Zhong,et al.The Application of Matlab/Simulink in the Projects of Relay Protection[J].Electric Drive Automation, 2006,28(1):53-55.
- [11] 陈大科,韩九强.基于 Matlab 的 TMS320LF2407 程序快速设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2005,(11): 37-39.  
CHEN Da-ke,HAN Jiu-qiang.The Fast Program Design of TMS320LF2407 Based on Matlab[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2005,(11): 37-39.

(下转第 90 页 continued on page 90)

构成的五元组唯一确定了操作所针对的数据库中的具体属性, 其中库态可能为运行态、仿真态、研究态等。

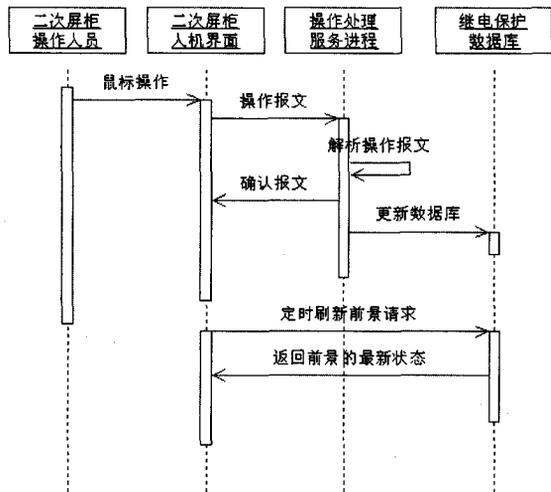


图 4 二次屏柜操作的顺序图

Fig.4 Sequence diagram of secondary screen operation

图 4 中, 除了解析操作报文功能是由操作处理服务进程实现的, 其他功能都是由应用支撑平台实现的。因此, 为了实现二次屏柜操作的模拟, 只需要在操作处理服务进程中增加对二次屏柜操作报文的解析处理即可。

### 5 现场一次设备和安全用具仿真

为了实现逼真的仿真效果, 现场一次设备和安全用具仿真采用三维显示和多媒体技术。由于原 DTS 中没有对三维显示的支持, 因此这部分需要全新开发。对现场一次设备和安全用具操作的模拟仍然可以采用图 4 的操作处理流程, 只是图中的二次屏柜人机界面需要换成支持三维显示的人机界面, 其他保持不变。

### 6 结论

本文提出了一种在调度员仿真培训系统的基础上通过功能扩展实现集控站仿真培训系统的方法。

该方法充分共享了调度员仿真培训系统的代码, 利用它快速实现了一个功能完备的集控站仿真培训系统, 并已经在现场投入运行, 系统运行稳定。

### 参考文献

[1] 张东英, 葛亮, 杨以涵, 等. 500 kV 综合自动化变电站仿真培训系统的实现[J]. 电网技术, 2001, 25(6):64-66. ZHANG Dong-ying, GE Liang, YANG Yi-han, et al. Implementation of 500 kV Automation Substation Simulation and Training System[J]. Power System Technology, 2001, 25(6):64-66.

[2] 王邦志, 林昌年, 蒲天骄, 等. 变电站集中监控仿真培训系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(15):21-24. WANG Bang-zhi, LIN Chang-nian, PU Tian-jiao, et al. Design and Implementation of a Training Simulator for Substation Control Center[J]. Power System Technology, 2004, 28(15):21-24.

[3] 何志良. 集控自动化系统及其与调度自动化系统的关系[J]. 电网技术, 2003, 27(3):68-70. HE Zhi-liang. Relationship between Integrated Automation Control System and Power Dispatching Automation System[J]. Power System Technology, 2003, 27(3):68-70.

[4] 胡军. CC2000 集控站系统在呼伦贝尔电业局的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(S2):351-353. HU Jun. Application of CC2000 Centralized Control Station System in Hulunbeier Power Supply Bureau[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2):351-353.

收稿日期: 2008-04-03; 修回日期: 2009-03-18

#### 作者简介:

胡晓侠(1970-), 女, 大专, 工程师, 主要从事调度自动化的管理工作;

胡炎(1975-), 男, 博士, 高工, 主要研究方向为电力二次系统安全防护、电力系统和保护仿真、调度自动化技术等。E-mail: yanhu@sju.edu.cn

(上接第 85 页 continued from page 85)

收稿日期: 2008-07-22; 修回日期: 2008-09-23

#### 作者简介:

石红杰(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为继电保护、配电网及水电站自动化; E-mail: shihongjie1981\_0@

163.com

乐秀璠(1952-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统监控与保护、水电厂综合自动化、微机测控技术;

徐懂理(1983-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为继电保护、配电网及水电站自动化。