

基于 PIC16F876单片机的智能低压电动机综合保护器的研究

佟为明¹, 李中伟¹, 倪文利²

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2 阿城继电器三厂, 黑龙江 阿城 150302)

摘要: 为解决市场上现有各种电动机保护器功能与成本之间的矛盾, 研制了一款高性价比的以 Microchip 公司的 PIC16F876 单片机为核心的智能低压电动机综合保护器。重点介绍了热过载保护的反时限特性和启动保护与运行保护的区别。提出了一种特定算法用于程序中的计算, 有效地解决了定点运算精度低和浮点运算计算量大、计算时间长的问题。在装置的结构和软硬件设计中, 采用了多种抗干扰措施, 以提高装置的可靠性与抗干扰能力。动态模拟试验和现场运行结果表明, 此保护器能对低压电动机的各种故障做出准确判断且具有良好的可靠性、重复性, 其动作值、动作时间的精度能达到一般工业现场要求。

关键词: 电动机保护器; 单片机; 动态显示; 在线调试; 在线编程

中图分类号: TM32 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)03-0043-04

0 引言

电动机已广泛应用于冶金、化工、纺织、石油、电力等国民经济的主要部门, 因此, 电动机保护器的研究与推广对国民经济有着重要意义。微机化、数字化、网络化是电动机保护器研究、发展的方向^[1-3]。市场上具有此特点的智能型电动机保护器有 50 多种, 但由于性能和价格的原因, 限制了其应用与发展。因此, 研制一种低价位而功能又相对强大的智能型电动机综合保护器就非常必要。本文以 Microchip 公司开发的 PIC16F876 单片机为核心, 研制了一款高性价比的低压电动机综合保护器。介绍了该保护器的主要功能特点, 并讨论了软硬件设计过程中遇到的几个关键技术。其中程序中的计算采用特定算法, 有效地解决了定点运算精度低和浮点运算计算量大、计算时间长的问题^[4]。

1 系统功能特点及方案确定

1.1 系统功能特点

根据对现有各种保护器功能比较及客户需求, 确定该保护器实现的保护功能包括: 启动严重过载保护、堵转保护、漏电保护、运行严重过载保护、断相保护、三相不平衡保护、过压保护、欠压保护、轻载保护和反时限热过载保护。热过载保护反时限特性如表 1 所示。热过载保护反时限特性序号可由用户根据现场情况设定。通过将启动保护和运行保护区别开来, 既可使运行保护有效地躲开较大的电动机启

动电流, 也可在启动时间内有效地保护电动机以免被烧损。

表 1 过载保护反时限特性

Tab 1 Inverse time characteristic of overload protection

倍数	反时限特性 /s			
	0	1	2	3
1.1	5	60	180	600
1.2	5	50	150	450
1.3	5	35	100	300
1.5	5	10	30	90
2.0	5	5	15	45
3.0	5	2	6	18
4.0	5	1	3	9

该保护器具有人机交互功能、故障指示和 5 次故障记忆功能; 具有 RS-485 串行通信接口, 可与 PC 机组成网络监控系统; 支持在线调试、在线仿真。

1.2 方案确定

根据系统功能特点, 确定本电动机保护器主要由 CPU、电动机三相电流、零序电流及线电压采样输入通道、按键输入、数码管显示、故障指示、操作回路和 RS-485 串行通信等部分组成。

当前单片机种类繁多, 且性能各异, 因此, 作为系统枢纽的 CPU 的确是系统方案确定的核心问题。Microchip 公司是世界上 8 位单片机年生产量最高的前两大厂商之一, 它生产的 PIC 系列单片机具有硬件系统设计简洁、指令系统设计精炼、集成外围模块多、功耗低、性能稳定等特点。PIC 系列单片机的主要优点是: (1) 哈佛总线结构; (2) 指令单字节化; (3) 精简指令集 (RISC) 技术; (4) 寻址方式简单; (5) 代码压缩率高; (6) 运行速度高; (7) 功耗低;

基金项目: 黑龙江省重点科技攻关项目 (GB02A103)

(8)驱动能力强;(9) I²C和 SPI串行总线接口;(10)寻址空间设计简洁;(11)外接电路简单;(12)支持 C语言编程;(13)程序保密性强;(14)品种丰富,开发方便^[5]。

PIC16F87X系列属于 PIC系列单片机的中、高档产品,而 PIC16F876又属于 PIC16F87X系列中的高档型号。PIC16F876集成有 5路 10位 A/D转换器、通用同步/异步收发器(USART)、捕捉/比较/脉宽调制器、看门狗等模块,可在线调试、在线编程。PIC16F876内有 8 K字节的 FLASH程序存储器、368字节的数据存储器,256字节的 EEPROM存储器。其 EEPROM存储器具有掉电不丢失的特点,可用来存储各种参数设定值及故障发生时的电流、电压值,以实现故障记忆功能。

通过对各种单片机的性能进行比较,结合本系统功能特点,决定选用 PIC16F876作为系统的 CPU。

PIC16F876单片机优越的性能使系统具有较高的可靠性与稳定性。它内部集成外围模块多的特点,使系统硬件结构大为简化。整个电动机保护器的制造成本仅为二三百元,非常适合保护低压电动机。它支持的在线调试、在线编程功能,使程序的修改和调试变得非常便利,并使装置的软件现场升级得以实现。在线调试和在线编程接线示意图如图 1所示。MPLAB-ICD模块通过 RS-232串口与计算机相连。在线调试可通过两种方式进行:(1)六芯插头插到仿真头六芯插座中,仿真头插到用户系统 CPU插座上;(2)六芯插头插到用户系统六芯插座中,用户系统 CPU插座放上对应 CPU。在线编程时,六芯插头插到用户系统六芯插座中,可将程序直接烧入用户系统 CPU中,然后撤掉 MPLAB-ICD模块,用户系统可独立运行,从而实现软件的现场升级。图 1中六芯插座与 CPU之间的六根连线分别定义为:(1)MCLR/VPP,人工复位输入端/编程电压输入端;(2)V_{DD},正电源端;(3)GND,接地端;(4)RB7/PGD,在线调试输入端和串行编程数据输入端;(5)RB6/PGC,在线调试输入端和串行编程时钟输入端;(6)RB3/PGM低电压编程输入端。

1.3 硬件构成

利用 PIC16F876内部的 5路 10位 A/D转换器对电动机的三相电流、电压及零序电流进行采样。电动机三相电流、零序电流经互感器降流后通过采样电阻变为电压信号,再经整流、滤波电路变为直流电压信号,然后送入 A/D转换器。同样,电动机线电压经变压器降压后,再经整流、滤波电路变为直流

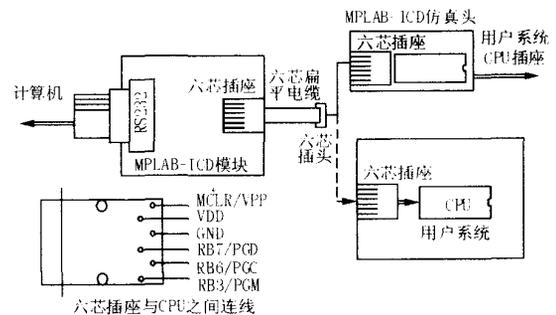


图 1 在线调试、在线编程接线示意图

Fig 1 Connection of on-line circuit debugging and programming

电压信号,然后送入 A/D转换器等待采样。将交流信号变为直流信号,利用其有效值作为各种保护判断的整定值,大大减小了 CPU的计算量,同时也能满足低压电动机的精度要求。系统所用电源系从电动机线电压经变压器降压再经电源模块整流、滤波、稳压后所得,这样可以降低系统的成本,减小系统的体积。

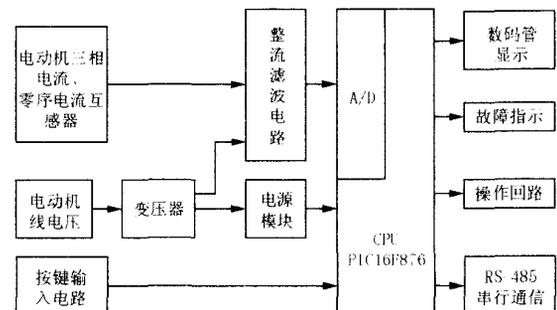


图 2 低压电动机综合保护器原理框图

Fig 2 Block diagram of low-voltage integrative motor protector

电动机保护器原理框图如图 2所示。采用串入并出技术及四位一体数码管显示,在大大节省 CPU I/O口和使系统具有人机交互功能的同时,使整个装置体积大为减小,从而降低了系统的成本。通过按键可以设置额定电流、过载序号、启动时间、轻载电流和额定电压等参数。系统具有 5次故障事件记忆功能。系统正常运行时,数码管显示当前电动机工作线电压,通过按键可以查看当前三相电流、零序电流值及故障记忆值。故障发生后,经过一个动作时间,系统通过操作回路切断电动机供电电路,数码管显示故障相的电流/电压值,直至故障排除或系统复位。在此状态下,通过按键也可查看故障发生时其它相的电流/电压值。装置面板上装有故障指示

灯,用以指示故障类别,方便故障检查。保护器各种参数设定值及电动机故障发生时的电流、电压值存入 PIC16F876的 EEPROM中,实现故障记忆功能。利用单片机自带的看门狗监护程序运行,提高系统抗干扰性能。系统具有 RS-485远程通信接口,可和 PC机组成网络监控系统。可将保护器的各种信息及运行状态传送给 PC机,也可通过 PC机设定、修改保护器各种参数。

2 软件设计

系统程序需完成 5路 A/D采样,各种保护判

断、处理,电流、电压值的显示,按键输入识别、处理,RS-485串行通信等功能;且需采用动态显示技术分阶段、分状况分别显示电动机当前电流、电压值、故障记忆值和各种参数设定值。而 CPU只有一个,这就需要合理设计软件,科学安排程序流程。

本系统的主要软件流程如图 3所示,主要包括主程序、A/D转换子程序、按键中断子程序。整个软件采用模块化设计,程序结构清晰,可移植性强。简述如下:

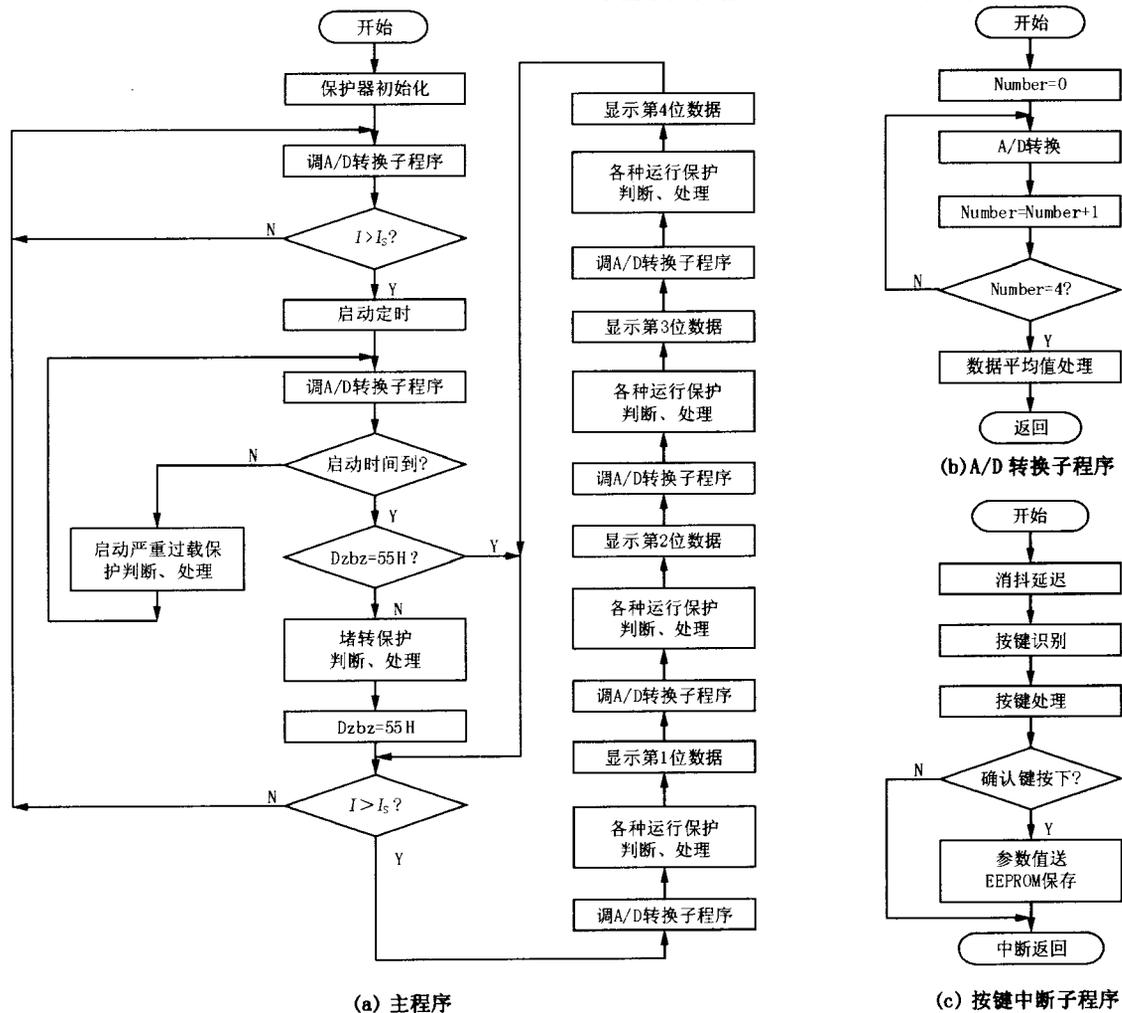


图 3 软件流程图

Fig 3 Flow chart of software

1)主程序完成系统初始化、A/D采样、判断电动机是否启动、数码管显示和各种保护判断、处理等操作。图 3(a)中 $I > I_s$ 为电动机是否启动的判断

依据,表示电动机当前三相电流之一, I_s 表示电动机启动电流。

2)A/D转换子程序主要完成 A/D转换任务,每

调用一次 A/D 转换子程序连续采样四次,多次采样求平均值,采用平均值滤波,提高系统抗干扰性能。

3) 按键中断子程序主要实现人机对话功能,可设定、修改、查看电动机保护器各种参数及显示电动机当前电流、电压、故障记忆值。

在程序中,所有的计算都采用定点算法,以整数的形式进行,这样计算量就大大减少,计算时间大为缩短。但在进行除法运算时会产生一定的误差,从而影响精度。为了提高计算精度,进行除法运算之前,将被除数乘以一个整数 $X (X = 2^n)$,之后将商右移 n 位,得到一个整数,同时根据余数对此整数进行修正得到最终结果。在数码管显示各种参数值时,根据需要,将要显示的值乘以一适当的倍数。如要以一位小数的形式显示一电流值,将此电流值乘以 10,计算出一个整数值,转换为 BCD 码,再在个位数前加小数点就可实现。电动机保护器的电压显示精度为 1 V,电流显示精度为 0.1 A。

3 抗干扰设计

各种系统中形成干扰的基本要素主要有三个:干扰源、传播路径和敏感器件。抗干扰设计的基本原则是:抑制干扰源、切断干扰传播路径和提高敏感器件的抗干扰性能。在本系统软、硬件设计过程中采取的抗干扰措施有:(1)电源部分加电源滤波器和瞬变电压抑制二极管,滤除电源干扰;(2)继电器线圈两端并联续流二极管,消除断开线圈时产生的反电动势干扰;(3)电路板上每个集成块电源与地之间并接一个 $0.1 \mu\text{F}$ 高频电容,以减小集成块对电源的影响;(4)电路板合理分区,将强、弱信号,数字、模拟信号分开。尽可能把干扰源(如继电器)与敏感元件(如单片机)远离;(5)布线时,电源线和地线要尽量粗;(6)单片机闲置的 I/O 口接地或接电源,其它集成块的闲置端在不改变系统逻辑的情况下接地或接电源;(7)使用 PIC16F876 内部的看门狗电路,监控程序执行;(8)在单片机程序空间空闲的地方加跳转指令,使单片机复位,以防止程序执行时误跳到这些地方而陷入死区;(9)系统各路采样均采用平均值滤波法,多次采样求平均值,增加采样值的准确性、可靠性。通过采取这一系列措施,系统的抗干扰性能大幅度提高,顺利通过各种试验。

4 结论

本文所研制的低压电动机综合保护器核心部件采用 Microchip 公司的新型、低功耗八位单片机

PIC16F876。保护器具有工作稳定可靠、精度高、保护参数设定简单方便和数字化、智能化、网络化等特点;可在线调试、在线编程,实现软件的现场升级;能满足高层次用户的要求。完善的抗干扰设计使电动机保护器通过动态模拟试验和现场运行试验,现已投入批量生产。精简的硬件结构、较高的性价比使得此产品必将拥有广阔的市场。

参考文献:

- [1] 佟为明,赵志衡.一种微机式电动机综合保护器的研制[J]. 低压电器,2003,(3):20-23
TONG Weiming, ZHAO Zhi-heng Study of an Integrative Motor Protector Based on Microcontroller [J]. Low Voltage Apparatus, 2003, (3): 20-23
- [2] 许志红,张培铭.智能电动机控制与保护器的研究[J]. 继电器,1998,26(6):22-26
XU Zhi-hong, ZHANG Pei-ming Research of Intelligent Motor Controllers and Protectors [J]. Relay, 1998, 26(6): 22-26
- [3] 李明清. PC 机及单片机数据通信技术 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000
LI Ming-qing Data Communication Technology of PC and Single Chip [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2000
- [4] 王明,王汝文.一种电量测量精度和运算速度的改进算法[J]. 低压电器,2003,(3):12-14
WANG Ming, WANG Ru-wen A Modified Arithmetic for Improving Measuring and Protecting Operating Speed of Measurement and Control Unit [J]. Low Voltage Apparatus, 2003, (3): 12-14
- [5] 李学海. PIC 单片机实用教程—基础篇 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002
LI Xue-hai PIC Single Chip Utility Tutorial—Basic Piece [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2000

收稿日期: 2004-05-25; 修回日期: 2004-06-25

作者简介:

佟为明(1964-),男,博士,教授,博士生导师,中国电源学会理事,主要研究方向为继电保护与电磁兼容技术,变频电源与谐波抑制,现场总线技术,永磁电器;

李中伟(1976-),男,博士研究生,研究方向为微机继电保护; Email: lzw760528@163.com

倪文利(1973-),男,助理工程师,主要从事电力系统二次保护设计工作。

(下转第 57 页 continued on page 57)

讯模块,并利用 ATT7026 芯片的强大功能,就可以实现远程抄表、监控,完全可以成为配电自动化系统的一部分。

参考文献:

- [1] 耿德根. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用修订版 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002
GENG De-gen The Theory and Application of AVR High Speed Embedded Microcontroller Revised Version [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002
- [2] 丁化成. AVR 单片机应用设计 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002
DING Hua-cheng The Applied Design of AVR Microcon-

troller[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002

- [3] 刘为. 配电网输电线路反时限过流保护探讨 [J]. 继电器, 2003, 31 (3): 23-25.
LIU Wei Discussion of Inverse Overcurrent Protection for Transmission Line in Distribution System [J]. Relay, 2003, 31 (3): 23-25.

收稿日期: 2004-05-31; 修回日期: 2004-08-04

作者简介:

李 辉 (1974 -),男,硕士研究生,研究方向为复杂系统控制理论与应用; E-mail: hli@126.com
陈铁军 (1954 -),男,教授,硕士生导师,从事复杂系统控制理论与应用的的教学及研究工作。

Inverse-time overcurrent protection system of distribution transformer

LI Hui¹, CHEN Tie-jun¹, WANG Ai-hui²

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: An inverse-time overcurrent protection system of distribution transformer is presented based on AVR microcontroller AT-MEGA 8515. The system can inspect the change of current in real time and perform such functions as alarming, opening, automatic reclosing, recording and faults displaying. The paper mainly discusses the algorithm of inverse-time overcurrent protection, and the problems and countermeasures both in checking instruments and calculating time differences.

Key words: distribution transformer; inverse-time protection; automatic reclosing

(上接第 46 页 continued from page 46)

Study of an intelligent low-voltage integrative motor protector based on PIC16F876 single chip

TONG Weiming¹, LI Zhong-wei¹, NI Wen-li²

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. The Third Relay Company of Acheng City, Acheng 150302, China)

Abstract: To resolve the contradiction between the function and the cost of the motor protectors in the market, a high performance-cost ratio and intelligent low-voltage integrative motor protector based on PIC16F876 single chip of microchip incorporation is designed. The inverse time characteristic of overload protection and the differences of starting protection and running protection are described in detail. A special algorithm is put forward to calculate in program, it solves the problem about low precision of fixed-point operation and high computation cost and long computation time of floating-point operation. To improve the reliability and the anti-interference ability of the equipment, many anti-interference measures are taken in designing the hardware and software. The results of dynamic simulation and test in the field indicate that this motor protector could make precise judgement to every kind of faults of the low-voltage motor protector and have higher reliability and repetition. The precisions of its action value and action time can meet the need of general engineering application.

This project is supported by Heilongjiang Technologies R&D Programme (No. GB02A103).

Key words: motor protector; single chip; dynamic display; on-line circuit debugging; on-line programming