

基于 ARM 技术的新型低压电动机保护控制器设计

唐颖¹, 李玉林²

(1. 成都理工大学信息工程学院, 四川 成都 610059; 2. 洛阳理工学院, 河南 洛阳 471023)

摘要: 主要介绍基于 ARM 嵌入式处理器的一种新型低压电动机保护控制器的设计, 采用 ARM 芯片 LPC2136 作为电动机的保护控制中心, 在 uC/OS 操作系统下采集电动机的三相输入电压、电流信号, 应用真有效值算法对电动机的状态实施监测, 与设定保护内容做比较后, 通过键盘和 LCD 显示器完成人机交互。该设计充分利用 LPC2136 内部硬件资源, 有效防止电机损坏, 具有完善的保护测控功能。

关键词: 电动机保护; 保护整定; ARM; 嵌入式系统; LPC2136

Design of new low-voltage motor protection controller based on ARM technology

TANG Ying¹, LI Yu-lin²

(1. College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: Based on ARM embedded processor, a new low-voltage motor protection controller is introduced, the ARM chip LPC2136 is applied as motor control center. The equipment is able to collect the signals of three-phase voltage and current in uC/OS operating system, to make TRMS protection algorithm with the sample data, to monitor the motor status. After comparing sample data with the reference data, the human-computer interaction is realized by keyboard and LCD screen. The design makes full use of internal hardware resource, prevents motor damage effectively, and possesses perfect protection and measurement function.

Key words: motor protection; protection setting; ARM; embedded system; LPC2136

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0119-04

0 引言

低压三相异步电机在企业、厂矿应用十分普遍, 但因电网波动、传动、负载、环境等原因, 电机往往会遇到电压、高压、过流、缺相、被堵转、启动时间过长、漏电等问题, 如果不采取相应的保护措施, 电机往往会被烧坏, 导致本工序、下工序乃至整个生产线的停工, 影响正常生产。

原有技术的保护装置主要是以机械、时间继电器保护为主, 缺点主要是精度、灵活性差, 安装复杂, 有时甚至起不到保护作用, 以单片机实现需要增加外围器件, 且运算能力无法满足实时控制的要求。比如电压取样式保护器虽然成本低, 但是对低压电动机的过载断线等故障就无能为力。还有电流取样式保护器, 由于对取样电流进行分析时采用整

流、滤波这样一种简单常规的电路, 导致一旦发生断相的恰好是保护器的工作电源所在那一组, 保护器就不会再工作了^[1]。为了实时对电机进行保护, 近几年来各企业研发人员都在纷纷寻求新的替代方案。目前 ARM (Advanced RISC Machines) 技术相对于单片机技术具有毋庸置疑的优点。比如运算能力强, 速度快, 能真正实现实时保护; 其次 ARM 内部集成了 AD/DA、I²C 等功能模块, 且 I/O 端口资源丰富, 控制灵活^[2]。本文认为研发设计低压电动机保护控制器首先需要有一个强有力的控制器来做实时运算; 为了保证保护动作的准确、正确, 还需要设计一个高精度的变换、测量电路; 为了能把数据直观地显示给客户, 便于客户统一管理, 还需要显示和统一控制模块。因此, 本文的目的就是根据上述设计理念, 克服现有技术上的缺陷, 采用 ARM 芯片设计一种低压电动机保护控制器。使其能通过对外部输入信号的实时监测, 与设定保护内容及限值的比较, 当超出限值范围时, 会自动执行对应的

基金项目: 成都理工大学青年教师科研基金立项资助 (2007QJ27)

保护措施，使电机不被损伤，从而达到实时对电机进行保护之目的。

1 系统设计

1.1 LPC2136 微控制器介绍

LPC2136是基于一个支持实时仿真和嵌入式跟踪ARM7TDMI-STM CPU的微控制器，并带有256 kB的嵌入的高速Flash存储器，它包含一个支持仿真的ARM7TDMI-S CPU、与片内存储器控制器接口的ARM7 局部总线、与中断控制器接口的AMBA高性能总线（AHB）和连接片内外设功能的VLSI外设总线。较小的封装和极低的功耗使LPC2136可以理想地用于小型系统中，如访问控制和POS机。宽范围的串行通信接口和片内32 kB的SRAM LPC2136非常适用于通信网关、协议转换器、软modem、声音辨别和低端成像，为它们提供巨大的缓冲区空间和强大的处理功能。

1.2 系统硬件组成

本设计电源为内置 AC/DC 电源，工作时 3 路三相电压输入，3 路三相电流输入。其次，6 路外部控制信号输入，6~8 路继电器输出，接三相电机控制接触器。启动电源开关后，ARM 主机开始系统初始化，如操作系统初始化、I/O 初始化、定时器初始化、串口初始化、创建任务如采样、保护、通信、调试等任务，最后进入正常监控运行状态。

系统由“测控模块”和“显示模块”组成。测控模块通过RS232接口与显示模块连接，通过RS485接口与上位机或网关连接。测控模块完成三相电流信号、电压信号、开关量的采集，并根据系统设置执行相应的动作。模块中各部分功能分述如下：电流接口，完成电流-电压变换、电平适配、电平位移后送至 ARM 内部 A/D 转换器的输入切换模拟开关。电压接口，将输入的高电压信号进行电平适配、电平位移后送至 ARM 内部 A/D 转换器。开关量输入接口，采集外部输入的开关量输入，采用光电隔离。开关量输出接口，驱动继电器，给外部接触器提供开关量输出信号。RS485 接口，实现和上位机通讯，需支持 Modbus 协议^[3]。RS232 接口和显示模块一起提供人机界面，采用私有协议进行通讯，如图 1 所示。

显示模块充当测控模块的人机接口，由 MCU、LCD 显示、键盘、RS232 接口组成。显示模块通过 RS232 接口和测控模块进行通讯，完成所选参数的显示、设置，如图 2 所示。图 3 为 LCD 显示外观图，包括液晶显示器、指示灯和功能键，功能键有上下左右按钮，可以根据需要调整液晶显示器的内容。

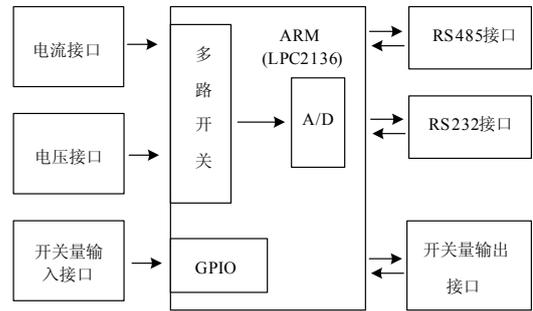


图 1 测控模块功能图

Fig.1 Measurement and control chart

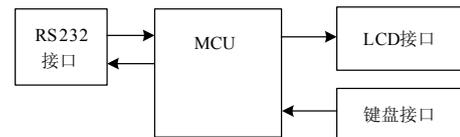
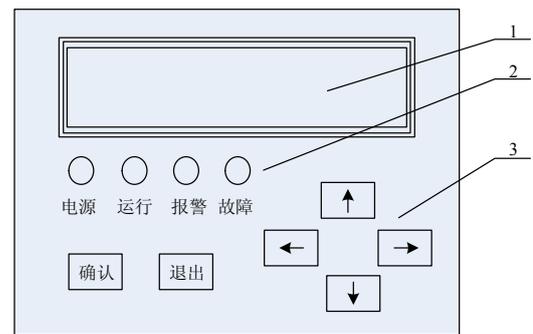


图 2 显示模块功能图

Fig.2 Display module function chart



1: 液晶显示器; 2: 指示灯; 3: 功能键

图 3 LCD 显示外观图

Fig.3 LCD display appearance

1.3 系统的软件设计

软件设计采用 uC/OS 操作系统，主要包括采样、计算、保护、通信、调试任务和一个 AD 中断；通过对外部输入信号的实时监测，与设定保护内容及限值的比较，当超出限值范围时，CPU 单元执行对应的保护措施，保护电机不被损伤。执行部分是指 I/O 通过光耦隔离，驱动继电器对电机上的接触器进行通断从而控制电机的运行，如图 4 所示。

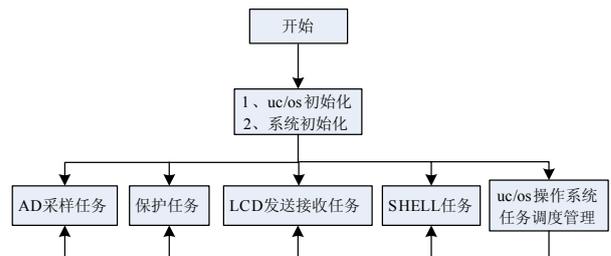


图 4 软件流程框图

Fig.4 Flow chart of software

A/D 采样采用中断方式, 中断每采到一组有效的数据, 通过释放信号量通知计算任务, 计算任务对采到的数据进行积分运算。在积分的次数到了后, 在全局数据结构中就存放了当前的电流、电压值。保护任务由定时器驱动, 每过一段时间取出当前的电压、电流值, 并根据系统设置的保护参数, 确定是否执行相应的保护动作^[4]。系统共由以下任务构成:

1) 采样任务。由中断驱动, 中断每采到一组有效的数据, 通过释放信号量通知采样任务, 采样任务对采到的数据进行积分运算。在积分的次数到了后, 在全局的数据结构中就存放了当前的电流、电压值。真有效值是“真正有效值”之意, 其英文缩写为 TRMS (True Root Mean Square), 亦称真均方根值。在不考虑初相位的情况下, 交流电压的表达式如式 (1):

$$u = U_p \sin \omega t \quad (1)$$

交流电压的真有效值是按式 (2) 定义的:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{u^2} \quad (2)$$

将式 (2) 进行离散化处理可得:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_N^2)} \quad (3)$$

式中: N 为每个周期的采样点数, 本设计中 $N=92$; u_N 为第 N 个采样点采样的采样值, 单位为伏特。

图 5 所示为采样过程示意图, 波形选择为正弦波, 频率设定为 50 Hz, 幅度格式选择为 V_{rms} 值, 使用真有效值电压表测量输出电压, 将交流电压变换到幅度 $-1.5 \sim +1.5$ V, 然后位移 1.5 V, 变成是微调电位器 RP1, 把输出电压校准到 $0 \sim 3$ V。

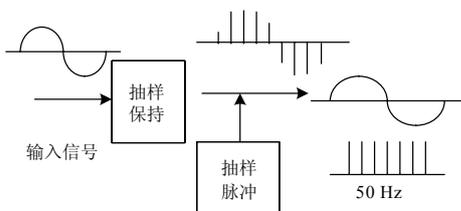


图 5 采样示意图

Fig.5 Schematic diagram of signal sampling

2) 保护任务。由定时器驱动, 每过一段时间取出当前的电压、电流值, 并根据系统设置的保护参

数, 确定是否执行相应的保护动作。处理流程如下:

```
For(;;)
{
    任务延迟 N 个 TICK;
    查看保护条件数据结构; (如: 如果电流设置为要保护, 且当前电流又超标, 则超时++)
    执行保护动作;
}
```

3) LCD 单元发送任务。由时钟 TICK 驱动, 每隔一个系统设置的 TICK 数就去查看一下采样任务的输出结果, 根据显示项目数据结构来决定将哪些数据发给 LCD 单元。

4) LCD 单元接收任务。负责和 LCD 进行通讯, 在收到一个 LCD 控制单元传来的完整的配置命令后, 将其保存在保护参数的数据结构中。

5) Shell 任务。负责接受超级终端发来的配置命令, 使用 Modbus 使用的串口, 编写简单的 Shell 命令, 将其保存在保护参数的数据结构中。

1.4 实测数据

表 1 是现场测试数据记录表, 通过对各项保护功能的测试, 结果表明, 该电机保护器的显示、测量、动作等各项功能均达到了设计指标; 网络通讯功能正常, 通讯协议兼容 ModBus 通讯产品; 上位即监控软件组态灵活, 使用方便, 功能满足设计需求。但个别保护的動作时间略大于时间整定值, 分析误差原因在于 GPIO 和继电器出口动作延时, 保护定时计数器时间计数值的设置上存在偏差。

表 1 测试记录

Tab.1 Test record

测试项目	整定	实测	延长	方式	实测延迟
短路电流	$7I_e$	$7.2I_e$	5 s	跳闸	5 s
定时过流	$2I_e$	$2.1I_e$	40 s	跳闸	41 s
堵转电流	$4I_e$	$4.05I_e$	15 s	跳闸	15 s
不平衡电流	$0.5I_e$	$0.49I_e$	3 s	报警	3 s
过电压	$1.81U_e$	$1.91U_e$	25.4 s	跳闸	26 s
欠电压	$0.41U_e$	$0.45U_e$	4.3 s	跳闸	4.7 s
零序电流	$0.70I_e$	$0.65I_e$	5 s	报警	5.5 s

2 实物图

产品的大体外形, 长宽高尺寸、LCD、键盘接口等在外壳上的位置分布如图 6 所示。

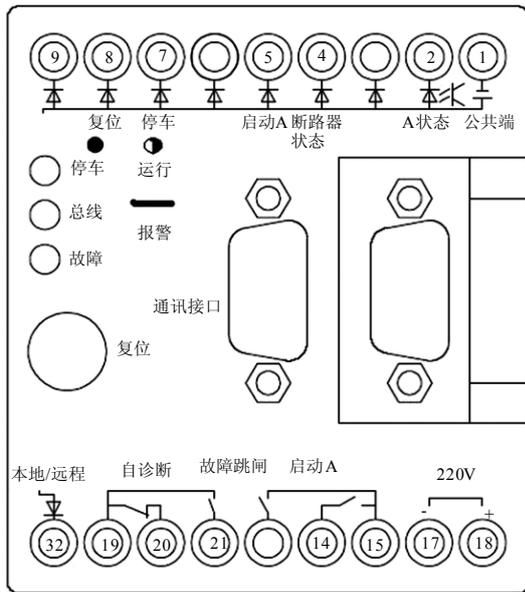


图 6 保护控制器实物图

Fig.6 Physical map of motor protection controller

3 结束语

本设计采用 ARM 控制器，充分利用了内部硬件资源，通过预设保护参数，系统能按指定的保护程序对电机进行保护，记录保护参数，掌握电机运行情况，保证了安全运行与生产，大大节约了电机更换成本。

参考文献

[1] 佟为民, 李中伟, 倪文利. 基于PIC16F876 单片机的智能低压电动机综合保护器的研究[J]. 继电器, 2005, 33(3): 43-46.
TONG Wei-min, LI Zhong-wei, NI Wen-li. Study of an intelligent low-voltage integrative motor protector based on PIC16F876 single chip[J]. Relay, 2005, 33(3): 43-46.

[2] 夏天伟, 郑祥, 王士荣. 电动机智能型保护监控装置的研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2004(4): 399-402.
XIA Tian-wei, ZHENG Xiang, WANG Shi-rong. Research of intelligent motor protector and monitor[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2004(4): 399-402.

[3] GB /Z 19582 222004 基于Modbus协议的工业自动化网络规范, 第2部分: Modbus协议在串行链路上的实现指南[S].
GB /Z 19582 222004 Modbus industrial automation network specification, part II: modbus protocol implementation guide over serial link[S].

[4] 张楠, 黄益庄, 李璇华. 综合保护装置中的多任务处理[J]. 继电器, 2003, 31(3): 31-32.
ZHANG Nan, HUANG Yi-zhuang, LI Xuan-hua. Multitask processing in the integrated protection device [J]. Relay, 2003, 31(3): 31-32.

收稿日期: 2009-10-18; 修回日期: 2010-03-04

作者简介:

唐颖 (1978-), 女, 讲师, 硕士研究生, 主要从事电动机保护研究; E-mail: tangy06@uestc.edu.cn

李玉林 (1975-), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为控制工程。

(上接第 94 页 continued from page 94)

[8] Le K Y, Bal X M, Young M P. Optimization method for reactive power planning by using a modified simple genetic algorithm[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(4): 1843-1850.

[9] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization[C]. //IEEE International Conference on Neural Networks. Perth (Australia): 1995.

[10] Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space[J]. Global Optimization, 1997, 11(4): 341-359.

[11] Qing A Y. Dynamic differential evolution strategy and applications in electromagnetic inverse scanning problems[J]. IEEE Trans on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 44(1): 116-125.

[12] Chiou J, Chang Ch, Su C Z. Ant direction hybrid differential evolution for solving large capacitor placement problems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(4): 1794-1800.

[13] Storn R, Price K. Differential evolution - a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous Space[R]. Berkley: Berkley International Computer Science Institute, 1995.

[14] Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(4): 341-359.

[15] Rainer Storn. Designing nonstandard filters with differential evolution[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(1): 103-106.

[16] 赵光权, 彭喜元, 等. 带局部增强算子的微分进化算法[J]. 电子学报, 2005(5): 850-853.
ZHAO Guang-quan, PENG Xi-yuan, et al. A modified differential evolution algorithm with local enhanced operator[J]. Acta Electronica Sinica, 2005(5): 850-853.

[17] Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space[J]. Global Optimization, 1997, 11(4): 343-358.

收稿日期: 2009-09-10; 修回日期: 2009-11-14

作者简介:

张炳才 (1955-), 男, 高级实验师, 主要从事电力系统分析的相关实验和研究; E-mail: xiansun@ysu.edu.cn

秦海娟 (1983-), 女, 硕士, 从事电网无功优化和优化算法研究。