

基于 CAN 总线的电动机保护装置的设计

张 韬¹, 温阳东¹, 杨聪慧²

(1. 合肥工业大学 自动化研究所, 安徽 合肥 230009;

2. 合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 对三相异步电动机保护系统的硬件及软件实现进行了研究,以 Freescale DSP 56F807 微处理器为控制核心,配以 CAN 总线、液晶显示以及采样等其他功能模块。而现场总线技术把专用微处理器置于测量控制设备中,把单个分散的测量控制设备变成网络节点,将其连接成可以相互沟通信息、共同完成控制任务的网络系统。在算法上由于 DSP 有强大的数据处理能力,对瞬时电压、电流和负序电流的幅值进行精确的计算而不需考虑时间的问题,用软件计算的方法替代硬件逻辑,减少硬件资源的浪费。

关键词: 数字信号处理器; 微处理器; 电机控制; 现场总线

中图分类号: TP368.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)02-0021-04

Design of the protection device for motor control based on CAN bus

Zhang Tao¹, Wen Yangdong¹, Yang Conghui²

(1. Industry Automation Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China)

Abstract: This paper mainly includes the hardware and software realization in three phase asynchronous motor protection system. It uses Freescale DSP 56F807 as the control core, and adds some functions as CAN, liquid-crystal display, sampling and so on to complete the motor protection together. The Field Bus technology which introduced in this paper puts micro controller in the measuring control devices, and changes the single device to the network node which can communicate with each other and complete the control function together. In the software, as the powerful capability of data processing, DSP can calculate the amplitude of the instantaneous voltage, current and negative-sequence current accurately and quickly. So this paper uses software calculating instead of hardware logic to save the hardware resource.

Key words: DSP; microprocessor; motor control; CAN bus

电动机是各行各业应用最为广泛的动力设备,但由于在使用过程中保护力度不够,经常出现以下问题:装置功效低下,保护装置经常出现拒动从而使电动机烧毁,由于误动而跳闸。近年来,随着计算机技术、自动控制理论以及信号处理理论不断发展,出现了以微处理器为核心、将继电保护与计算机技术相结合形成的微机继电保护装置。

1 系统硬件设计

系统采用双 CPU 结构,设计并实现了一套由数字信号处理器 56F807 加单片机 W78E516 构成的微机保护测控装置。FREESCALE 数字信号处理器 56F807(此后简称为 56F807)作为主芯片完成信号采集、信号处理、保护

和通讯等功能。该芯片具有 A/D 转换、开入和开出回路以及串行通讯口等功能,信号输入电压为 0V~3V,转换速度最快为每次同时扫描需要 5.3 μs,采集的路数、位数和速率完全满足交流采样的要求。单片机 W78E516 完成人机接口的所有功能。两个模块之间采用基于 MODBUS 协议的 RS-485 总线进行实时通讯。这种双 CPU 结构具有并行工作、分工合作的优点,既保证了继电保护的速动性、选择性、灵敏性和可靠性,又实现了实时测量的高精度。通过 CAN 总线实现远程的实时监控与调试。因此,用户可以根据现场网络灵活选用通讯接口方式。这样真正实现了电动机的智能保护、集中监控和管理。该系统硬件框图见图 1。按其功能分为两大模

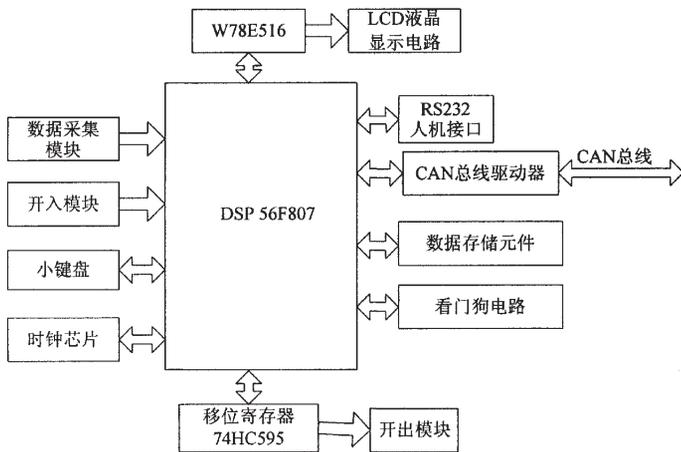


图 1 系统硬件框图

块：由数据采集模块、开入开出模块、EEPROM 模块和 DSP 56F807 组成的保护模块；由 CAN 总线和通过 RS-485 总线连接的显示电路组成的监控模块。

1.1 保护模块功能

保护模块的主要功能是完成数据的采集、处理、计算、保护逻辑判断和出口逻辑判断及动作。硬件电路图如图 2 所示。

1.1.1 数据采集模块

该系统的模拟量采集使用 56F807 自带的 12 bit、16 通道的 A/D 转换器，电压和电流测量中采用定时采样频率为 1 600 Hz，采样间隔约为 0.625 ms。对于 50 Hz 的工频交流信号而言，每个周波的采样值为 32 个点。外部

电流及电压输入经隔离互感器，低通滤波器输入至模数变换器，进行 A/D 转换得到若干序列的离散采样值，然后通过 Fourier 算法得到 I_a 、 I_b 、 I_c 、 I_0 、 U_a 、 U_b 、 U_c 和 U_0 的幅值。同时计算推导出电动机的有功功率、无功功率、功率因数等参数。

1.1.2 开入开出模块

开入开出模块根据开发要求，装置设计了 12 路开入量，12 路开出量。开入量用于电机启动、停机和报警状态反馈等信息量的采集。12 路开出量，主要用于各种故障的跳合闸和报警使用。本系统采用由 8 个 I/O 口发出 4 个开出量信号以及通过 8 bit 串行输入，串/并行输出移位寄存器 74HC595 控制 8 组输出控制 8 个开出量。为了防止干扰引起的误动，利用两个关联的 I/O 口同时输出不同电平时光耦动作，实现对开出信号的开放与闭锁功能。当开出条件满足时，开出量再经过 TIL113 光电耦离后输出，驱动外部继电器，实现保护出口动作。

1.1.3 数据存储单元模块

X5043 芯片是美国 XICOR 公司生产的集上电复位、“看门狗”定时器、电压监控和串行 EPROM 四项功能于一体的专用集成芯片，用以降低系统成本、节约电路板空间。X5043 中上电复位、“看门狗”定时器、电源电压监控功能对系统可以起到保护作用；512×8 bit 的 EPROM 可用来存储系统内的重要数据。

1.2 监控模块

1.2.1 CAN 通信模块

当前有很多微控制器将 CAN 控制器嵌入到系统之

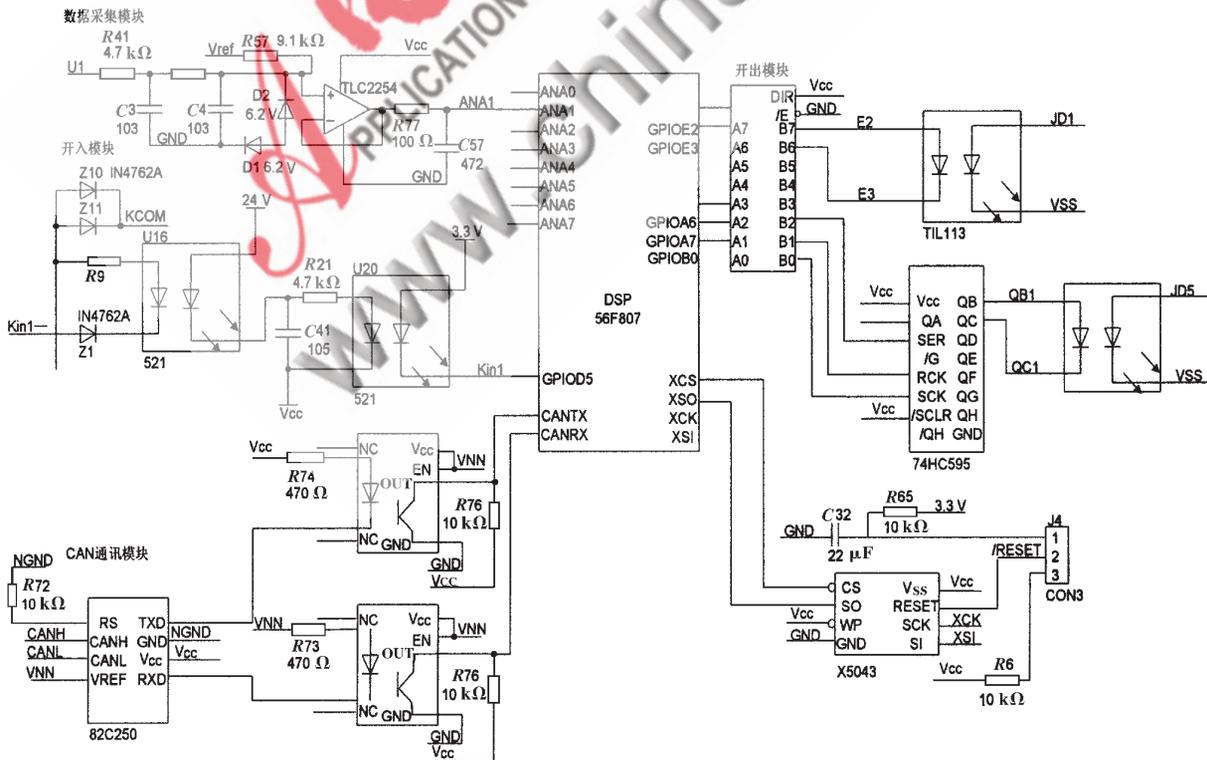


图 2 系统硬件连接图

硬件纵横

Hardware Technique

中,DSP 56F807 内部也集成有 CAN 控制器,它支持标准和扩展信息帧,外围只需连接 CAN 收发器即可以方便地将 CAN 控制器连接到 CAN 总线网络上,网络上任一节点均可在任意时刻主动向网络上其他节点发送信息,实时接收和发送数据。

1.2.2 其他模块

RS-485 通讯:通讯采用 485 主从网络,使用 MAXIM 公司生产的差分平衡性收/发器芯片 MAX485,MAX485 系列芯片采用半双工通讯,可以实现多台器件综合保护的联网功能。每个 IC 芯片包含一个驱动器和一个接收器,符合 RS-485/RS-422 通讯标准。

6N137 光耦合器是一款用于单通道的高速光耦合器,具有温度、电流和电压补偿功能,在本次设计中,使用 6N137 光耦合器将 DSP 中 TXD1 和 RXD1 信号与 TX 和 RX 隔离开。

显示电路:作为电机保护系统的显示模块,本系统使用的 LCD 是 TG160128A1,它已由制造商装配好了液晶显示驱动,并提供了驱动电路的接口,通过 DSP56F807 的 I/O 口可以实现对 LCD 的读写操作。

电源模块:DSP 的工作电压是 3.3V,而开发板的供电电压为 5V,所以必须做一个 5V~3.3V 电压的转换。使用了 AS1117M5-33 芯片把 5V 电压转换为 3.3V 电压。数字电源和模拟电源之间用磁珠相连,数字地和模拟地之间也用磁珠相连。模拟地和模拟电源之间连小电容,数字地和数字电源之间也连小电容。

2 系统软件设计

在电机保护装置中,各检测节点定期采集现场的电压电流信号,然后用傅里叶算法对采集来的数据进行分析处理,计算出电压、电流的有效值和各次谐波分量值,并进行幅值、相位、正负序等实时参数计算,判断得到的实时值是否超过限定值,即判断是否发生故障,并通过 CAN 总线将数据发送到上位机。

2.1 系统总体软件设计

本系统软件设计采用的是模块化设计,分为三个部分:初始化模块、系统控制模块和通信模块。初始化模块主要完成 DSP 系统、外设部件,以及系统管理方式的初始化等。由于电机保护系统是实时性要求严格的系统,因而采用主程序模块和中断子程序模块相结合的方法。中断子程序主要由保护模块和通信模块组成。主程序流程图以及保护模块流程图如图 3 所示。

2.2 各相电流、电压幅值算法

由于 56F807 芯片具有以下优点:在一个指令周期内可以完成一次加法和一次乘法,程序和数据空间分开,可以同时访问指令和数据、支持流水线操作,使取址、译码和执行等操作可以重叠进行。另外其主频极高,可以为在设计中采用复杂、精确的保护算法提供时间保证。故求取电流与电压的幅值均采用付氏滤波算法。先

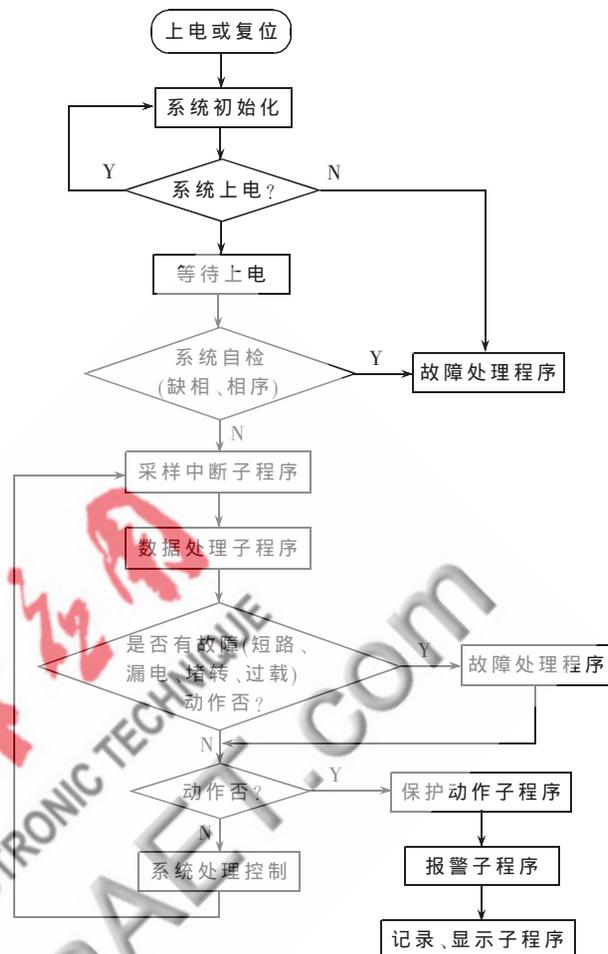


图 3 系统流程图

求出付氏正、余弦系数,再用平方、开方公式算出幅值。设输入电量为:

$$Y(i) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(k\omega t + \delta_n) \quad (1)$$

如有离散后一周波内连续 N 点采样值 $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$, 则可求出全周傅氏正、余弦函数如下:

$$Y_{sk} = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N Y_n \sin(kn \frac{2\pi}{N}) \quad (2)$$

$$Y_{ck} = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N Y_n \cos(kn \frac{2\pi}{N}) \quad (3)$$

式中: N 为一周波采样点数, 600 Hz 采样频率时, $N=12$ 。

$k=1$ 时得到基波的正、余弦系数为:

$$Y_{s1} = \frac{1}{6} \left[\frac{1}{2} (Y_1 + Y_5 - Y_7 - Y_{11}) + \frac{\sqrt{3}}{2} (Y_2 + Y_4 - Y_8 - Y_{10}) + Y_3 - Y_9 \right] \quad (4)$$

$$Y_{c1} = \frac{1}{6} \left[\frac{1}{2} (Y_2 + Y_4 - Y_8 + Y_{10}) + \frac{\sqrt{3}}{2} (Y_1 - Y_5 - Y_7 + Y_{11}) + Y_{12} - Y_8 \right] \quad (5)$$

然后依据(6)式计算出幅值的精确值,进行准确、可靠的故障判断。

$$|M| = \sqrt{Y_s^2 + Y_c^2} \quad (6)$$

硬件纵横

Hardware Technique

由(6)式对幅值的计算中有两次平方和一次开方,计算量比较大,所以选用有着强大计算功能的 DSP,可以不用考虑时间问题而保证幅值的精确性,从而保证了保护的可靠性。

2.3 负序电流算法的选择

负序电流作为电机保护中一种判据,在判断是否有不对称故障和不对称故障的类型时,有着非常重要的作用。由于选用的 DSP 有着非常强大的处理数据的能力,可以考虑用软件计算的方法替代硬件逻辑的方法,不仅可能减少硬件的连接,而且能够提高整个保护的可靠性和精确性。

由于三相电流 X_A 、 X_B 、 X_C 可以根据对称分量法分解为正序、负序和零序三个分量,而对称分量负序与三相基波相量的关系为:

$$X_{-1} = 1/3 (X_A + \alpha 2X_B + \alpha X_C) \quad (7)$$

其中 $\alpha = e^{j120}$ 。

由于采样率为每周 12 点,三相电流采样瞬时值为 $X_A(k)$ 、 $X_B(k)$ 、 $X_C(k)$,则通过快速负序算法,实际中取瞬时负序电流为:

$$X_{-1}(k) = [X_A(k) + X_B(k-4) - X_B(k) - X_C(k-4)] \quad (8)$$

由(8)式可以看出,负序电流的瞬时值于 A 相第 k 点采样, B 相第 k 和第 $k-4$ 点采样值以及 C 相的第 $k-4$ 点采样值有关,利用电流幅值计算公式就可以精确计算出负序电流的幅值。

2.4 CAN 通讯模块

在各种现场总线中, CAN 总线不仅具有突出的可靠性、实时性和灵活性。而且还具备很多其他总线不具备的特点:

(1)由报文标识符(11 bit 或者 29 bit)确定的总线访问优先级;

(2)采用非破坏性总线仲裁技术,当两个节点同时向总线发送信息时,优先级较低的节点会主动退出发送,优先级较高的节点可以不受影响;

(3)采用的是短帧结构,传输时间短,受干扰概率低,具有良好的检错效果,而且 CAN 的每帧信息都有 CRC 校验,保证了极低的数据出错率;

(4)在 CAN 节点严重错误的情况下具有自动关闭输出功能,以使总线上其他节点的操作不受影响;

(5)CAN 只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据。

每个发送缓冲区都有 14 B 的寄存器结构。这个寄存器结构包括数据帧的标识符、等待发送的数据、发送数据帧的长度和发送缓冲优先级寄存器。

2.5 CRC 校验在 56F807 中的算法实现

为了能够将信息可靠快速的及时的传给对方,考虑传输距离、现场状况、干扰等诸多因素的影响,一般在通信时采用数据校验的方法。循环冗余码校验就是常见的校验方法之一。

循环冗余校验码 CRC(Cyclic Redundancy Check Code)是线性分组码的分支,是一种检错能力很强的循环码。循环冗余校验对传送数据作错误检测(Error Detecting)是利用除法及余数的原理。编码和解码方法简单,容易实现,检错能力强,误判概率几乎为零,而且这种方法取得校验码的方式具有很强的信息覆盖能力,是一种效率极高的错误校验法。校验基本原理如图 4 所示。

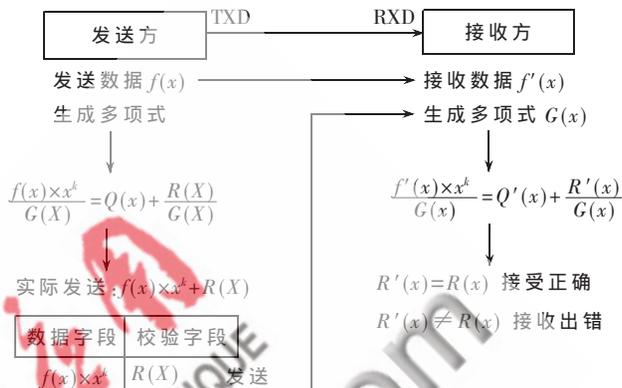


图 4 CRC 校验基本原理图

CRC 生产多项式 $G(x)$ 由协议规定,目前已有多种生产多项式列入国际标准中,例如:

$$\text{CRC-12 } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

CRC-16 $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ 等,在本次设计中选用的是 CRC-16。

CRC 的编解码用到模 2 的多项式除法,而多项式除法可以采用带反馈的移位寄存器来实现,因此,用 DSP 来实现 CRC 编解码的关键是通过 DSP 来模拟一个移位寄存器(也就是模拟手写多项式除法)。考虑到 56F800 系列 DSP 的累加器 A 和 B 均为 32 bit,因此,可以用一个 32 bit 累加器 A 作为移位寄存器。在 CRC 的编码和解码中均涉及到码的移位和异或操作,这可以通过 56F800 系列的 LSR、LSL(逻辑移位)和 EOR(逻辑异或)两条指令来实现。CRC 校验的流程图如图 5 所示。

本设计是利用 DSP56F807 芯片强大的功能,配以外围功能模块,实现对电动机的电流、电压信号的整流、滤波并转换为直流信号,送到 DSP 的 A/D 口经过保护算法,判断是否动作、故障处理以及参数设置、液晶显示,并且通过现场总线对网内所有的电动机进行状态实时监测、运行控制、数据处理以及参数调整,其功能是以前的简单数字保护装置无法相比的。通过对设计成的保护装置样机进行调试和分析表明,保护动作正常,其他相关保护测试都满足相关要求,初步验证了系统硬件部分和软件部分设计的正确性。

参考文献

- [1] 范寿康,康广荃,尹磊,等. Freescale 16 位 DSP 原理与开发技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006:16-89.
- [2] 邵贝贝,龚光华,薛涛,等. Motorola DSP 型 16 位单片机

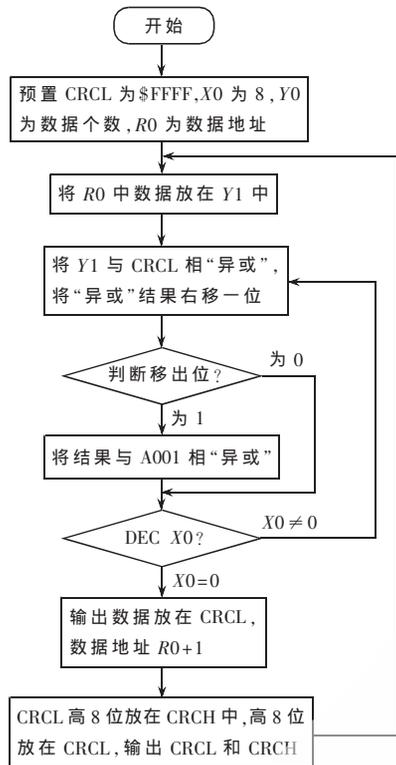


图 5 CRC 校验流程图

原理与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003:106-247.

[3] 高亮.电力系统微机继电保护[M].北京:中国电力出版社,2007:160-202.

[4] 罗钰玲.电力系统微机继电保护[M].北京:人民邮电出版社,2005:167-191.

[5] 黄天戌,徐长宝.基于 DSP 的电动机保护算法优化[J].测试技术与应用,2003(6):32-33.

[6] DSP 56f807 USER'S MANUAL[S],2001

[7] 周敏.基于 Motorola56F807 的新型变压器保护装置[J].中国仪器仪表,2005(4):94-96.

(收稿日期:2010-09-20)

作者简介:

张韬,男,1984年生,硕士生,主要研究方向:嵌入式系统与应用,研究生阶段正在进行微机保护、电动机保护的研究。

温阳东,男,1954年生,教授,博士生导师,主要研究方向:控制理论与控制工程、电力系统、微机保护、电动机保护。

杨聪慧,女,1985年生,本科生,主要研究方向:对过程控制和生产工艺进行研究和改进。