

基于 MSP430 的低压电动机保护装置的设计及研究

黄辉¹, 姚尧²

(1. 五邑大学信息学院, 广东 江门 529020; 2. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

[摘要] 基于MSP430的电动机保护装置是在传统的电机保护装置上集成了多种保护措施, 实现了对低压电动机故障的判断和保护。本文系统地分析了电动机故障, 通过以电流为判据, 将电机保护分解为过流、负序和零序保护3大类, 由此可基本覆盖电动机所有常见故障类型。本文介绍了保护装置采用的保护算法, 使用带减法滤波的傅氏算法。硬件电路的构成及其特点也给予详细的介绍。最后提出了软件设计流程。经实验表明, 该装置能在故障时有效地保护电动机。

[关键词] MSP430 单片机; 电动机保护; 保护算法; 电动机故障

[中图分类号] TM307⁺.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-3983 (2007) 02-0023-04

Motor Protective Device Based on MSP430

HUANG Hui¹, YAO Yao²

(1. School of information, Wuyi University, Jiangmen 529020, China;

2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A motor protective device based on MSP430 integrates several protections into traditional motor protective device to diagnose and protect the motor faults. The motor faults are systematically studied. According to the current, motor protection are divided into overcurrent, negative and zero sequence protection. Thus it can cover almost all the common faults in motors. The Protection algorithm adopts the Fourier transform method with wave filtering. The hardware constitution and features are also presented in detail. The software design flowchart is given in the end. After the experiment, the motor protective device can protect the motor effectively.

Key words: MSP430; motor protection; protection algorithm; motor fault

1 引言

大规模现代化生产中, 对电动机既有长时间连续运行的要求, 也有间歇、变负载、变速等各种状态下运行, 并能进行群控和集中监控的要求。电机保护装置也向着具有测试、自检测、故障识别、受控和自处理等智能化要求的方向发展。研制多功能智能电机保护装置是电机保护面临的重大任务。

单片机的发展及其应用技术的成熟, 为电动机保护的研制提供了新的解决方案。本文提出的基于 TI 公司的 MSP430 单片机的电机保护装置正是一种多功能的智能电机保护装置, 对于电动机过载、缺相、速断、堵转、过压、欠压、接地/漏电和欠载等造成的故障具有判断、保护、报警和控制功能。

2 电动机故障分析

电动机的损坏主要是绕组过热或绝缘性能降低引

起的, 而绕组的过热往往是流经绕组的电流大引起的。

依据流经绕组的电流, 可以把电动机故障形式分为对称故障和不对称故障两类。

对称故障主要包括: 过载、堵转和三相短路等。其主要特征是: 三相电流仍基本对称, 同时出现过电流。故障严重程度基本反映在过电流的程度上。因此, 可以用过电流程度来判断此类故障。对于严重的三相短路的保护应采用速断跳闸; 堵转故障的保护应采用短时限跳闸; 而对于对称过载应采用反时限跳闸, 其反时限特性应与电动机的温升指数特性相配合。

不对称故障又可以分为非接地性不对称故障和接地性不对称故障。非接地性不对称故障主要包括: 断相、相间短路、匝间短路及不平衡运行等。其主要特征是: 三相电流不对称, 出现负序电流分量。可以用负序电流分量作为此类故障的判别标准, 保护应采用短时限跳闸或速断。接地性不对称故障主要包括: 单相接地短路和两相接地短路。其主要特征是: 三相电

流不对称, 出现零序电流分量。可以用零序电流分量来判断此类故障, 采用速断或短时限跳闸加以保护。

由以上的分析可知, 过电流、负序和零序 3 个分量的不同分布组合与各故障类型之间具有很好的对应关系, 见表 1。因此, 以电流为判据, 将电机保护分解为过流、负序和零序保护 3 大类, 由此构成的综合保护可基本覆盖电动机的所有常见故障类型。此外, 还可以通过采集的电压信号来判别过压和欠压两种故障。

表 1 电动机故障特征分布

		故障类型	零序	负序	过电流	其他故障特征
对称故障	过载	x	x	(1.5-5) I_e	$I_a=I_b=I_c$	
	堵转	x	x	(5-7) I_e	$I_a=I_b=I_c$	
	短路	x	x	(8-10) I_e	$I_a=I_b=I_c$	
不对称故障	非接地	断相	x	$I_c/\sqrt{3}$	$\sqrt{3} I_{I_0}$	$I_a=0,$ $I_b=-I_c$
		逆相	x	I_a	x	$I_a=I_b=I_c$
		不平衡	x	√	x	$I_a \neq I_b \neq I_c$
	接地	相间短路	x	取决于位置	x	$I_b=I_c > I_a$
		单相接地	$\Sigma I/3$	√	取决于位置	$I_a > I_b=I_c$
		两相接地	$\Sigma I/3$	√	取决于位置	$I_b, I_c > I_a=I_0$

注: 1.单相故障时假设以 A 相为故障相; 两相故障时假设以 B 相和 C 相为故障相。

2. I_e 为额定电流; I_0 为故障前的电流幅值; $\Sigma I = I_a + I_b + I_c$ 。

3.“√”表示有电流, “x”表示没有电流。

3 保护算法

保护算法是用适当的数学运算实现故障量的测量、分析和判断, 使运算结果的精确度能满足要求, 而计算耗时又尽可能短。

傅氏算法的前提是假定被采样的模拟信号是一个周期性时间函数, 除包含基波外, 还有不衰减的直流分量和各次谐波。这种算法在实现时, 实际上是对离散的采样值进行计算, 分别计算各相电流 I_n ($n=a, b, c$) 的实部 I_m 和虚部 I_{in} :

$$I_m = \frac{2}{N} \sum I_k \cos \frac{2\pi nk}{N}, \quad I_{in} = \frac{2}{N} \sum I_k \sin \frac{2\pi nk}{N}$$

其中 N 为一个周期中的采样数。显然 N 越大, 采样精度越高。

在单片机上作实时计算时, 每出现一个新采样值

后就计算一次, 而且应对前 N 个采样值(包括新出现的一个)同时加以运算。在运算时, 对 N 个采样值都分别乘以不同的系数, 然后求和。计算出 I_n 的实部 I_m 和虚部 I_{in} 后, 就可求得幅值 I_n 和相位角 θ 为:

$$I_n = \sqrt{I_m^2 + I_{in}^2}, \quad \theta = \arctg\left(\frac{I_{in}}{I_m}\right)$$

这样就可以计算出任意次谐波的振幅和相位, 其中 $n=0$ 时为直流分量, $n=1$ 时为基波分量。对电动机保护, 只需计算出基波的电流信号。

在电力系统中, 实际的输入信号中含有非周期分量, 且其中包含有衰减的直流分量。因此, 可以对输入信号先施行一次减法滤波, 然后再进行傅氏计算, 这样就可削弱非周期分量, 减少傅氏算法的计算误差。

4 保护原理

本装置采用电流继电器元件作为电动机起动的判别元件, 用带时限的速断保护作为电动机的主保护。对各类故障的保护均给予定时。一旦定时到, 且满足动作条件时, 定时器随即发出动作指令。

在电机保护中, 起动过程的判别非常重要。当检测到线路从无流状态起动至超越 30% 的电动机额定电流时, 起动判别元件动作。当三相电流中任一相电流大于速断保护整定值并达到整定延时后保护动作。由装置自动判断电动机的起动过程, 当电动机起动过程结束后自动调整到起动后速断定值, 可有效地躲过起动瞬间暂态过程, 且不影响保护的灵敏度。电流继电器动作条件为: 起动中, $I_{\Phi \max} \geq I_{sd1}$; 起动后, $I_{\Phi \max} \geq I_{sd2}$ 。其中 I_{sd1} 、 I_{sd2} 分别为起动中和起动后的速断电流定值。

过流(堵转)保护和报警主要是为了避免起动后高过载或堵转时造成电动机烧毁, 其保护动作条件为 $I_{\Phi \max}$ 大于过流保护的电流定值, 一般选为额定电流 I_e 的 2.5 倍。

过载保护和报警主要是为了避免电动机因长时间过载发热而遭致破坏。动作条件为 $I_{\Phi \max}$ 大于电动机额定电流定值的 1.1 倍。当满足条件后, 可通过软件控制字来选择是由跳闸接点还是辅助跳闸接点输出跳闸。

缺相保护和报警是防止因为电流不平衡或断相而烧毁电动机。动作条件: 不平衡率 $\text{Max}\{(U_\Phi - I_p/I_p) \times 100\} \geq 90\%$, I_p 为三相电流平均值。

起动时间过长保护和报警可以避免因堵转或重载起动时造成起动时间过长。动作条件: $I_{\Phi \max}$ 大于起动时间到达时的过流定值, 一般可取额定电流的 1.1 倍。

接地保护和报警主要是防止电动机因为外壳接地故障造成的损坏。动作条件为电流大于接地过流定值。

欠载保护和报警动作条件： $I_{\phi_{\min}} \geq I_{DL}$ ， I_{DL} 为欠载保护的定值。过压、欠压保护和报警动作条件分别为 $U_{\phi_{\max}}$ 大于或小于保护的定值。

5 硬件结构

该电机保护装置以 MSP430F149 单片机为核心。其主要的工作流程是：先分别通过电压互感器和电流互感器采集电动机的三相电压和三相电流信号，经由电流电压变换器及放大部分转化为合适的电平。由于 MSP430F149 内部集成了采样保持电路和 A/D 转换电路，因而可直接将电平送入 CPU 进行保持和转换。转换后的数据经 MSP430F149 分析处理后，做出相应的判断，并对输出回路发出动作指令，通过继电器来执行跳闸，同时该装置上的指示灯报警并指示故障类型。通过 CAN 和 RS-232 方式与上位机进行通讯，以便监测装置的状态。硬件结构如图 1 所示。

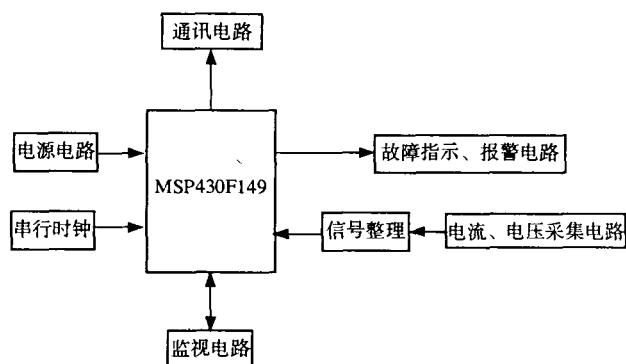


图 1 硬件结构原理图

5.1 电流、电压信号采集电路

采用高性能的电压互感器(SPT204)采集三相之间的相电压信号，穿芯电流互感器(SCT265)采集通过各相的电流及零序电流，并由放大电路转换为合适的电平。

5.2 信号整理电路

采集的电压信号 PT1 ~ PT3 直接送到 MSP430F149 单片机的 A/D 通道 A4 ~ A6 进行采样保持，然后进行模数转换。而三相电流信号 CT1 ~ CT3 及零序电流信号 CT0 分别都有两路电流信号来进行差动比较。于是采用 Maxim 公司的 Max4674 宽带四路 2:1 模拟多路复用器，这样每次只有一路信号进入 MSP430F149 的 A/D 转换器进行转换。

5.3 中央处理单元 (CPU) 及其外围电路

5.3.1 CPU

采用 TI 公司 16 位单片机 MSP430F149 作为 CPU。它集成了微处理器、60kB 的 FLASH 存储器、1kB 的

RAM、看门狗定时器和 12 位的 A/D 模块，结构简单，功能强大。该系列单片机最为突出的特点在于超低功耗。其内部两个不同的时钟系统产生的时钟信号，可以在指令的控制下打开或关闭，从而选择所需运行的功能模块，即采用不同的工作模式。系统中共有一种活动模式和 5 种低功耗模式。采用矢量中断，用中断将 CPU 从电动机故障中唤醒只要 6 μ s。这样通过合理的编程，既可以降低系统功耗，又可快速响应外部事件。由于 MSP430F149 单片机内置了 12 路 12 位精度的 A/D 转换模块，所以无需再外接 A/D 转换器。片内有采用边界扫描技术的 JTAG 模块，可通过 JTAG 接口实现 CPU 仿真调试功能，便于在线调试和程序下载。

5.3.2 监控电路

采用 Maxim 公司的 Max706 监控芯片，能够监控电源电压、电池故障和 CPU 的工作状态。它集成了多项功能，与采用分离元件或单一功能芯片组合的电路相比，大大减小了系统电路的复杂性和元器件的数量，显著提高了系统可靠性和精确度。故障时能及时准确地发出复位信号。

5.3.3 串行时钟电路

采用 Dallas Semiconductor 公司带报警的串行实时时钟接口芯片 DS1305 组成串行时钟系统。MSP430F149 通过读 DS1305 中的 RAM 实现对其的模块设置和时间读取。其串行接口模式(SERMODE)引脚接电源，选择 SPI 串行通信。为保证断电时仍能准确计时，需要一个后备的可充电电池。正常时由电源供电，且对电池充电；一旦掉电，电路自动转化为后备电池供电。

5.4 指示、报警及执行电路

指示、报警及执行电路包括跳闸输出、辅助跳闸输出、报警指示灯和事故复位按钮。由 CPU 发出的报警输出信号(低电平)可以驱动共阳极的报警发光二极管，分别指示各类故障。而输出的跳闸信号和辅助跳闸信号可以迅速地控制电动机的工作状态，从而实现了对电动机的保护。

5.5 电源供电电路

本装置采用 24V 的直流工作电源。选用 LM2575 系列开关稳压集成电路作为电压转换器，为各芯片提供稳定的直流 3.3V 和 5V 工作电源。

5.6 通讯接口电路

本装置采用基于 MODBUS 协议(RTU 方式)的 CAN 和 RS-232 通讯方式，以供测试和与计算机或通

信机通讯使用,以组网实现遥控、遥测、遥信功能。

CAN方式采用Microchip公司的MCP2510CAN总线控制器,利用MSP430通过标准SPI串行通信接口可实现对MCP2510的控制,并能够实现CAN总线规范。而CAN控制器和物理总线之间的接口由Philips公司的PCA82C250来提供,它对物理总线提供差动发送能力,对CAN控制器提供差动接收能力。

采用Maxim公司的Max202作为RS-232方式的接口,可以进行TTL电平与RS232电平的转换。主控制器将前端数据采集器送来的数据经初步处理后,按照一定的格式组装成帧,分组发送给上位管理微机。通信波特率设为4800 bps,采用奇校验。

6 软件设计

软件流程为:首先对系统进行初始化,先用自检程序对RAM执行一个简单的交互式0/1测试。通过将一个AAH,55H模型写入整个RAM,将其求反后的RAM值写入RAM并重新检查,再清除整个RAM。若发现错误则复位。然后,判断电机是否上电运行。若是,则进行数据采集处理并自动检测电机运行状态。若发现电机不正常运行,则立即识别故障类型,进行故障处理,并显示出故障信息,接着执行相应的跳闸环节。见图2。

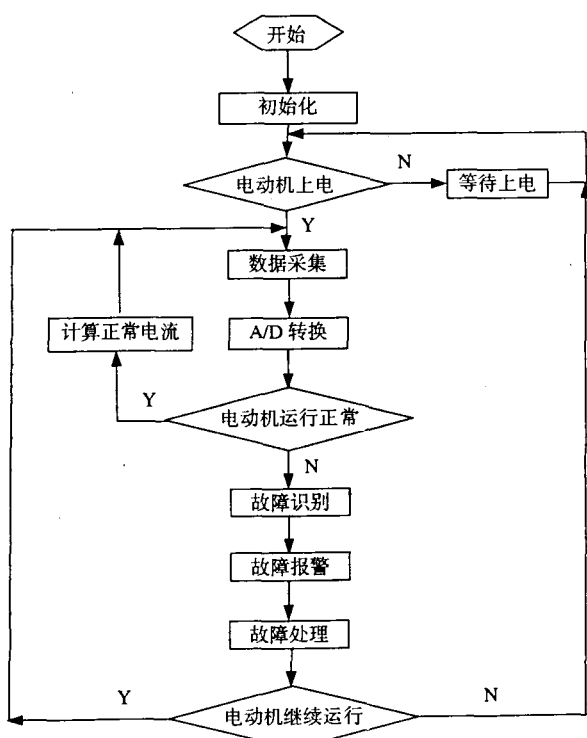


图2 主程序流程图

软件在IAR公司的Embedded Workbench可视化集成开发环境下,使用C430编写。它提供方便且功能丰富的界面,其C430编译器提供了C语言的标准特性,并且添加了许多为利用MSP430系列的特性而设计的扩展功能。

7 结语

本文所介绍的低压电机保护装置,充分利用了MSP430F149单片机的各种功能,监视电动机故障,具有成本低、性价比高、可靠性强的优点。特别是在低功耗方面和相应速度上极为突出。实验样机经编程调试,各项保护功能均能达到预期的效果,对于出现的各种故障能及时、准确地做出识别和处理。通过与上位机的接口,能将电动机的运行状态反映于上位机,便于监视电动机状态,以及修改保护的整定值。

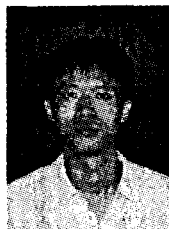
[参考文献]

- [1] 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 胡大可. MSP430系列FLASH型超低功耗16位单片机[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [3] 胡大可. MSP430系列单片机C语言程序设计与开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [4] 辜承林, 陈乔夫, 熊永前. 电机学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [5] 沈标正. 电机故障诊断技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [6] 陈文会, 朱长纯. 基于MSP430F149电机保护算法的实现[J]. 现代电子技术, 2004, (11): 65-67.

[收稿日期] 2005-07-29

[作者简介]

黄辉(1980-), 硕士, 助教, 研究方向为电力系统智能控制与在线检测、电力电子技术应用。



姚尧(1979-), 博士研究生, 研究方向为电力系统过电压及抑制、电力电子技术应用、电力系统电磁暂态研究。

