

基于MSP430的低压电动机保护装置

姚尧, 陈柏超, 黄辉

(武汉大学电气工程学院, 湖北武汉 430072)



第一作者: 姚尧 (1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子在电力系统中的应用、灵活交流输电系统及电能质量与控制。

摘要: 基于MSP430的电动机保护装置通过在传统的电机保护装置上集成多种保护措施, 实现对低压电动机故障的判断和保护。系统分析了电动机故障, 然后以电流为判据, 将电动机保护分解为过流、负序和零序保护, 基本覆盖了电动机的常见故障类型。介绍了保护装置采用的保护算法和硬件电路的构成及其特点, 提出了软件设计流程。实验表明, 该保护装置能在故障时有效地保护电动机。

关键词: 单片机; 电动机保护; 电动机故障; 保护算法

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5531(2006)04-0016-04

Low Voltage Motor Protective Device Based on MSP430

YAO Yao, CHEN Bai-chao, HUANG Hui

(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 failures. The motor failures were systematically introduced. According to the current serve as the criterion, motor protection was divided into positive, negative and null sequence. Thus, it can overlay nearly all the common motor failures. The Protection algorithm and the hardware constitution and features were also presented in detail. The software design flowchart was given. It is proved by experiment that the motor protective device can protect the motor effectively.

Key words: singlechip processor; motor protection; motor failures; protection algorithm

0 引言

在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。

单片机及其应用技术的发展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。

1 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过大引起的。根据流经绕组的电流, 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过电流的程度。因此, 可以用过电流程度判断此类故障。对于严重的三相短路的保护, 应采用速断跳闸; 对于堵转故障的保护, 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。

不对称故障又可分为非接地性和接地性两种。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及出现负序电流分量。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判断此类故障,采用速断或短时限跳闸加以保护。

由上述分析可知,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,将电动机保护分解为过流、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所有常见的故障类型。此外,还可以通过采集的电压信号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	×	×	$(1.5 \sim 5)I_e$	$I_a = I_b = I_c$
	堵转	×	×	$(5 \sim 7)I_e$	$I_a = I_b = I_c$
	短路	×	×	$(8 \sim 10)I_e$	$I_a = I_b = I_c$
不对称故障					
非接地	断相	×	$I_e/\sqrt{3}$	$\sqrt{3}/I_0$	$I_a = 0, I_b = -I_c$
	逆相	×	I_a	×	$I_a = I_b = I_c$
	不平衡	×	√	×	$I_a \neq I_b \neq I_c$
	相间短路	×	取决于位置	×	$I_b = I_c > I_a$
接地	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,“×”表示无电流

2 保护算法

保护算法运用适当的数学运算方法实现故障量的测量、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。实现该算法实际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} :

$$I_m = \frac{2}{N} \sum I_k \cos \frac{2\pi nk}{N} \quad (1)$$

$$I_{in} = \frac{2}{N} \sum I_k \sin \frac{2\pi nk}{N} \quad (2)$$

式中, N 为一个周期中的采样数。显然, N 越大,采样精度越高。

在单片机上做实时计算时,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。运算时,对 N 个采样值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,可求得幅值 I_n 和相位角 θ 分别为

$$I_n = \sqrt{I_m^2 + I_{in}^2} \quad (3)$$

$$\theta = \arctan(I_{in}/I_m) \quad (4)$$

当 $n=0$ 时,直流分量的值为

$$I_0 = I_{i0} = \frac{2}{N} \sum I_k \quad (5)$$

$$\theta = 0 \quad (6)$$

$n=1$ 时,基波分量的值为

$$I_{i1} = \frac{2}{N} \sum I_k \cos \frac{2\pi k}{N} \quad (7)$$

$$I_{i1} = \frac{2}{N} \sum I_k \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (8)$$

此时,

$$I_1 = \sqrt{I_{i1}^2 + I_{i1}^2}, \quad \theta = \arctan(I_{i1}/I_{i1})$$

由此可计算出任意次谐波的振幅和相位。对电动机保护,只需计算出基波的电流信号。

在电力系统中,实际输入信号中含有非周期分量,其中包含衰减的直流分量,故可对输入信号

先施行一次减法滤波,再进行傅氏计算,这样就削弱非周期分量,减少傅氏算法的计算误差。

3 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,一旦到达定时且满足动作条件时,定时器随即发出动作指令。

3.1 带时限的速断保护

在电动机保护中,起动过程的判别非常重要。当检测到线路从无电流状态起动至超越 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,当电动机启动过程结束后,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: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。

3.2 过流(堵转)保护和报警

避免起动后高过载或堵转时造成电动机烧毁。

过流保护动作条件: $I_{\phi_{\max}} \geq I_{gl}$ 。其中, I_{gl} 为过流保护的电流定值,一般为额定电流 I_e 的 2.5 倍。

3.3 过载保护和报警

避免电动机因长时间过载发热而损坏。

过载保护动作条件: $I_{\phi_{\max}} \geq 110 \% I_e$ 。其中, I_e 为电动机额定电流定值。

当满足条件后,可通过软件控制字选择由跳闸接点还是辅助跳闸接点输出跳闸。

3.4 缺相保护和报警

避免电流不平衡或断相时造成电动机烧毁。

缺相保护动作条件:不平衡率

$$\max\{(|I_{\phi} - I_p|/I_p) \times 100 \% \} \geq 90 \%$$

其中, I_p 为三相电流平均值。

3.5 起动时间过长保护和报警

避免堵转或重载起动时造成起动时间过长。

起动时间过长保护动作条件: $I_{\phi_{\max}} \geq I_{dz}$ 。其中, I_{dz} 为起动时间到达时的过流定值,一般可取额定电流的 1.1 倍。

3.6 接地保护和报警

防止电动机因外壳接地故障造成的损坏。

接地保护动作条件: $I_L \geq I_{CF}$ 。其中, I_{CF} 为接地过流定值。

3.7 欠载保护和报警

欠载保护动作条件: $I_{\phi_{\min}} \geq I_{DL}$ 。其中, I_{DL} 为欠载保护定值。

3.8 过压保护和报警

过压保护动作条件: $U_{\phi_{\max}} \geq U_{GY}$ 。其中, U_{GY} 为过压保护定值。

3.9 欠压保护和报警

欠压保护动作条件: $U_{\phi_{\max}} \leq U_{QY}$ 。其中, U_{QY} 为欠压保护定值。

4 硬件结构

该电动机保护装置以 MSP430F149 单片机为核心。其主要工作流程是: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,经电流、电压变换器及放大电路转化为合适的电平。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 分析处理后作出相应的判断,并对输出回路发出动作指令,通过继电器执行跳闸,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 方式与上位机通信,以便监测装置的状态。硬件结构如图 1 所示。

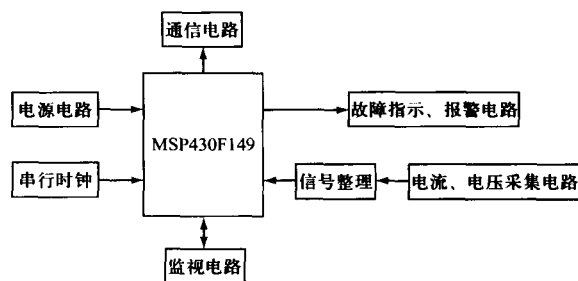


图 1 硬件结构原理图

4.1 电流和电压信号采集电路

采用高性能的电压互感器 SPT204 采集三相之间的相电压信号,采用穿芯电流互感器 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。

4.2 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。三相电流信号 CT1 ~ CT3 及零序电流信号 CT0 分别有 2 路电流信号进行差动比较。采用 Maxim 公司的 Max 4674 宽带 4 路 2:1 模拟多路复用器,这样每次只有 1 路信号进入 MSP430F149 的 A/D 转换器进行转换。

4.3 CPU 及其外围电路

4.3.1 CPU

采用 TI 公司 16 bit 单片机 MSP430F149 作为 CPU。它集成了微处理器、60KB Flash 存储器、1KB 的 RAM、看门狗定时器和 12 bit 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是超低功耗。其内部 2 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 1 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,又可以快速响应外部事件。MSP430F149 单片机内置 12 路 12 bit A/D 转换模块,无须外接 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。

4.3.2 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 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。

4.3.3 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 通过访问 DS1305 中的 RAM 实现模块设置和时间读取。其串行接口模式(SER-MODE)引脚接电源,选择 SPI 串行通信。为了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,电路自动转化为由后备电池供电。

4.4 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控制电动机的工作状态,从而实现对电动机的保护。

4.5 电源供电电路

本装置采用 24 V 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 3.3 V 和 5 V 工作电源。

4.6 通信接口电路

本装置采用基于 Modbus 协议(RTU 方式)的 CAN 和 RS-232 通信方式,供测试及与计算机或通信机通信。

CAN 方式采用 Microchip 公司的 MCP 2510 CAN 总线控制器,利用 MSP430 通过标准 SPI 串行通信接口实现对 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 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 RS-232 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,分组发送给上位机。通信波特率设为 4.8 kb/s,采用奇校验。

5 软件设计

首先对系统进行初始化,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,判断电动机是否上电运行。若是,则进行数据采集处理并自动检测电动机运行状态。若发现电动机运行不正常,则立即识别故障类型,进行故障处理,并显示故障信息,接着执行相应的跳闸环节(见图 2)。

软件在 IAR 公司的 Embedded Workbench 可视化集成开发环境下运行,使用 C430 编写,能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。

(下转第 48 页)

模块设置一个通信超时标志,当请求帧尚未接收完毕,而续字节超过 20 ms 仍未到达,则断定通信出错。出错则丢弃本帧,调用通信初始化模块对工作区复位,并准备下一次通信。

(2) 通信初始化模块。PLC 的通信以“接受请求帧-返回响应帧”的过程作为一个通信循环,每次循环之间均通过初始化模块对通信工作区中的各中间变量和标志进行复位操作,并将同步字、接收数据指针和发送数据长度的设置放在开机初始化中,在第一个扫描周期时执行。

(3) 通信寄存器刷新模块。通信寄存器是上位机程序与 PLC 进行数据交换的桥梁。PLC 把 I/O 点状态存入相应通信寄存器作为发送数据前的准备。在 PLC 中,对于上传的状态数据实时进行对应寄存器的刷新,以随时准备将数据提供给上位机。

4 结束语

立足现有电话网络,通过 Modem 拨号上网实现 PLC 与 PC 间的远程通信,可以满足监控系统的要求,使远程监控中心能够通过 PLC 读取自动化设备的实时运行信息,并向 PLC 传送控制指令。PLC 在远程监控系统中的应用越来越广泛,同时远程监控功能的实现也进一步拓展了 PLC 的功能和用途。

【参考文献】

- [1] 田瑞庭. 可编程序控制器应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [2] 高钦和. 可编程控制器应用技术与设计实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.

收稿日期:2005-09-02

(上接第 19 页)

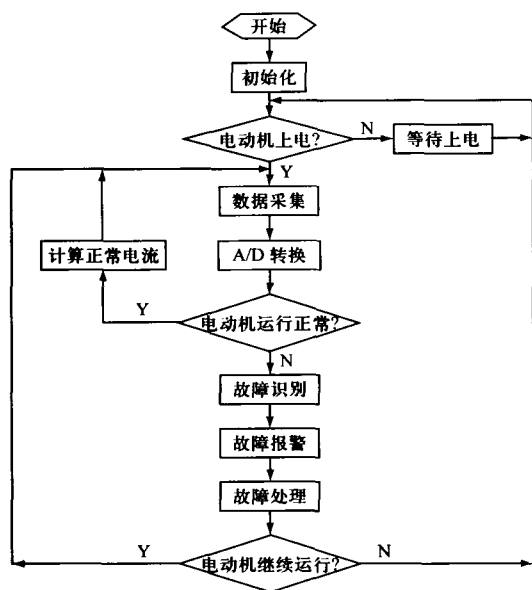


图 2 主程序流程图

6 结束语

本文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、可靠性强的特点。特别是在低功耗和速度方面极为突出。实验样机经编程调试,各项保护功能均达到预期效果,对于出现的各种故障能及时、准确地进行识别和处理。通过与上位机的接口,能将电动机的运行状态反映给上位机,便于监视电动机状态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:2005-05-31