

基于 MSP430 的电动机智能保护器设计

朱红, 张晓冬, 张金霞

(北京交通大学电气工程学院, 北京 100044)

Design of the Motor Synthesize Protection Based on MSP430

ZHU Hong, ZHANG Xiao-dong, ZHANG Jin-xia

(College of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

摘要:系统地分析了电动机的故障特征, 提出基于检测故障电流正序、负序和零序电流分量的故障保护判据, 同时根据电动机的发热特性, 建立了基于电流模拟的电机热模型, 推导了该模型的计算方法。采用超低功耗 MSP430 单片机实现电动机保护的检测, 实现了电动机多功能故障保护以及参数的数字化整定。

关键词: MSP430 单片机; 对称分量法; 智能化

中图分类号: TP206.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2257(2008)07-0044-03

Abstract: Analyzing the fault-characteristic of motor, the fault-criterion is gained, which is based on the detection of the positive-sequence, negative-sequence and zero-sequence current, meanwhile, according to the thermal features, motor thermal model based on current-fabrication is established,

收稿日期: 2008-03-11

arithmetic of the thermal model is inferred. Using super low work loss MSP430 micro-controller unit to realize the monitoring of the motor and achieve synthesize protection to various fault of motor and digital enactment of the parameter.

Key words: MSP430 micro-controller unit; symmetrical component method; intelligence

0 引言

我国电动机保护的研究已有半个世纪之久, 最早有以熔断器、热继电器构成的保护方式, 熔体熔断往往会造成电机缺相运行而烧毁, 而热继电器保护方式动作缓慢、返回时间长, 不适合在中小型电动机中使用; 电子式电机保护装置随着电子技术的迅速发展应运而生, 现已制成安全可靠的集成电路电机保护器, 但这类保护器的综合保护装置大多采用纯硬件结构, 存在扩展功能不够灵活等缺陷; 随着单片机应用技术的成熟, 智能型多功能型保护装置应运

- [3] Canales F, Barbosa P M, Lee F C. A zero voltage and zero current switching three-level DC-to-DC converter[A]. IEEE Proc. of APEC'00[C]. New Orleans, Louisiana, USA, 2000, 314-320.
- [4] Ivo Barbi, et al. DC-DC converter; four switches $V_{pk} = V_{in}/2$, capacitive turn-off snubbing, ZV turn-on [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(4): 918-927.
- [5] Vorperian V. Simplified analysis of PWM converters using model of PWM switch, Part I: continuous conduction mode[DB]. IEEE Trans. Aerosp. Electron. syst., 1990, 26, 490-496.
- [6] Tsai Fu-Sheng. Small-signal and transient analysis of

- a zero-voltage-switched, Phase-controlled PWM converter using averaged switch model [DB]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1993, 29, 493-499.
- [7] Simulator reference manual V4.2 of SIMetrix[Z].
- [8] Vlatkovic Vlatko, et al. Small-signal analysis of the phase-shifted PWM converter[DB]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1992, 128-135.
- [9] Abraham Pressman. 开关电源设计. 2版[M]. 王志强, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.

作者简介: 叶惠 (1984-), 女, 湖北黄石人, 硕士研究生, 研究方向为电力电子装置与系统; 王志强 (1951-), 男, 天津人, 副教授, 研究方向为电力电子装置与系统。

而生,完善的功能扩展和智能化的参数设定与控制展现其广阔的发展前途。本文充分利用 MSP430 单片机的优势完成智能型多功能保护器的设计,实现对电机的故障保护。

1 电动机故障保护判据

引起电动机损坏的常见故障主要有对称性故障和不对称性故障 2 大类。

对称性故障包括欠载、过载、堵转和三相短路等多种情况,由于欠载情况一般不会烧毁电机,通常不予以保护,但是对于一些场合,电动机由于传动装置损坏导致没有机械能输出,此时电动机的功率因数非常低,大量消耗系统的无功,欠载故障发生时,电动机能量不能被充分利用,如果长期处于欠载运行状态,也会造成电机的损坏,因此也必须对此种故障做出保护。此种故障可以通过判别电流、功率因数或者消耗功率来实现对其故障的保护。由于电动机保护等级的不同,标准也不尽相同,一般小于 0.7 倍的额定电流就认为是欠载故障,保护装置切断电动机控制线路以对其做出保护。

过载、堵转和三相短路等故障对电动机造成的损坏主要体现在热效应上,其电流大大高于额定电流,可以使绕组发热甚至损坏,其主要特征也是三相基本对称但同时出现过电流的情况,故障严重程度基本反映在过电流的程度上。短路保护为电流速断保护,堵转保护为定时限过电流保护,是短路的后备保护,过载保护则是电动机定子绕组过流发热的主保护。电动机自身的热积累可能使电动机烧毁,因此电动机的过载保护必须具有“热量记忆”的功能,当热量积累到一定程度时,要求保护装置给予保护。由于电动机的过载特性具有反时限特性,过载保护多采用反时限过电流保护,以电动机的正序、负序、零序电流为基础提出了一个反映发热效应的“等效电流” I_{eq} ,其反映了 I_+ 和 I_- 的不同发热效应。设 k_1, k_2 分别为正、负序电流系数,则有:

$$I_{eq}^2 = k_1 I_+^2 + k_2 I_-^2 \quad (1)$$

其中, k_1 在电机起动过程中取为 0.5, 起动完毕后取为 1; k_2 代表负序电流对电机发热的影响程度,一般取 3~8; I_{eq}^2 表示电动机发热特性,应用于单片机的热积累模型为:

$$Q = \sum \{ Q_c [k_1 (I_1)^2 + k_2 (I_2)^2 - 1.05 (I_c)^2] \} \quad (2)$$

当电动机内部的热量积累到一定限度,保护器动作以避免热量的继续累加造成电动机的损坏^[1]。

不对称故障又可分为非接地性和接地性 2 种。非接地性不对称故障,主要包括反相、三相不平衡、断相、相间短路等故障,此类故障的主要特征是三相电流不对称。由于我国电动机的中心点不接地,零序分量为 0,故定子电流可分解为正序和负序分量。电动机在正常运行时基本没有负序电流分量,因此检测负序电流分量可以作为此类故障的判据。电动机的烧坏以三相不平衡故障率最高,占整个电动机烧坏故障的 70% 以上。通常三相不平衡故障以不平衡度作为评价依据,一般认为不平衡度大于 20% 为不平衡故障,一般表达式为:

$$\text{不平衡度} = \frac{\text{三相电流最大值} - \text{三相电流最小值}}{\text{三相电流平均值}} \times 100\% \quad (3)$$

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。发生接地性不对称故障时,会出现零序电流分量,这是此种故障的根本特征,可作为接地性故障的主要判据。为了提高接地保护的灵敏度,采用零序电流互感器检测零序电流,当检测到零序电流大于设定值时,保护装置动作。

表 1 列出了电机常见故障特征^[2]。

表 1 电机常见故障特征

故障类型	正序	负序	零序	
对称性故障	欠载	$< 0.7 I_c$	无	无
	过载	$(1.2 \sim 5) I_c$	无	无
	堵转	$(5 \sim 7) I_c$	无	无
	短路	$(7 \sim 18) I_c$	无	无
不对称性故障	反相	无	有	无
	非接地 三相不平衡	有	有	无
	断相	有	有	无
	接地 单相接地	无	无	有
	两相接地	无	无	有

电动机在起动过程中,电流会远大于额定电流,如果此时按照上述判断依据就会造成系统的误判断,则可以采取乘以一个起动系数的方法(如 $k = 0.5$) 解决此问题。

2 硬件电路设计

MSP430 系列超低功耗 16 位混合信号处理器集多种领先技术于一体,采用 16 位 RISC 处理器,同时采用了一般只有 DSP 才有的 16 位多功能硬件乘法器,增强了其数据处理能力;该系列单片机集成

了丰富的片内外设(以 MSP430F449 型号为例),简化了系统硬件的设计^[3]。

以 MSP430F449 单片机为核心的系统设计如图 1 所示。

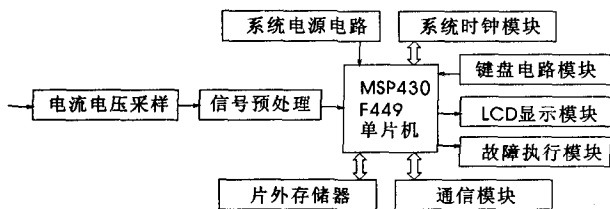


图 1 系统设计

由电压、电流互感器实时检测电动机的待测电压和电流,经过信号预处理电路的转换、放大、滤波等处理,输入到 MSP430 单片机自带的 A/D 转换模块完成数据的模数转换,根据对称分量法和均方根算法计算其实时信号有效值和各个正序、负序、零序的有效值,将各个有效值与设定值比较完成故障的判别以及实时信号的显示,便于工作人员的监测和维修。

3 软件电路设计

软件设计部分主要包括参数设定、数据采集、数据处理、故障判别和 LCD 显示等功能模块,系统流程图如图 2 所示。整个系统的软件编程在 IAR Workbench 环境中调试完成的。

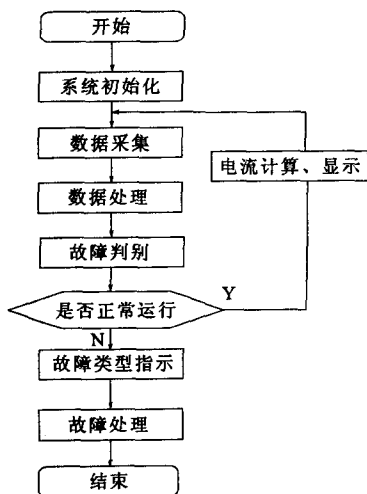


图 2 系统软件流程

参数设定模块实现系统保护参数的设定,其功能的实现主要由键盘、LCD 液晶显示和配合编写的程序来共同完成。由于电动机需要的保护等级不同,标准也不尽相同,为了使此保护器有更大的适用范围,故增加参数设定模块,如短路故障的故障判据

为 7~18 倍的额定值。

数据采集模块是由系统自带的 Timer A 和 ADC12 转换器配合完成,简化了系统硬件的设计。考虑到对称分量需要利用实时三相负载电流值、超前 120°(1/3 周期)和超前 240°的负载电流值,因此 1/3 周期必须经过整数个采样点。分析被测信号的特点,本文采用原理简单的均方根法计算有效值,同时考虑到随着采样点的增加会提高系统的计算精度,但过大增加采样点个数会增加计算量,影响系统的处理速度。通过试验采用一个周期采样 24 个点能够满足系统的设计要求了,因此采样频率近似为 0.83 ms,即每隔 0.83 ms 采样一次。

数据处理模块依据对称分量法和均方根算法对实时信号进行处理。MSP430F449 自带的硬件乘法器支持无符号乘法、有符号乘法、无符号乘加和有符号乘加的运算,加强了 MSP430 的数据处理能力,可以更及时地对各种故障做出判断。

故障判别模块将根据数据处理的结果,来判断电机是否正常工作,实施相应保护动作,完成故障保护模块的功能。LCD 显示模块包括实时电流显示、故障类型显示和参数设定显示。

4 结束语

此保护器是以 MSP430F449 为核心的设计完成的,由于 MSP430 单片机片内外围模块丰富,大大简化了系统硬件的设计,同时自带的硬件乘法器提高了系统的数据处理能力,而自带模数转换器能够实现 12 位精度的模数转换,精度高,使保护器的可靠性大大提高。

参考文献:

- [1] 于波. 过流继电器智能保护技术的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2007.
- [2] 陈文会, 朱文纯. 基于 MSP430F149 电机保护算法的实现[J]. 现代电子技术, 2004, 11: 65-66.
- [3] 沈建华, 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.

作者简介: 朱红 (1983-), 女, 河北秦皇岛人, 硕士研究生, 研究方向为电机继电保护、电磁兼容等; 张晓冬 (1956-), 男, 天津人, 教授、博士研究生导师, 研究方向为电磁兼容、电子技术、自动控制等。