

# 电子式过载保护继电器的研究

赵靖英, 陆俭国, 王景芹, 李文华

(河北工业大学电器研究所, 天津 300130)

摘要: 详细介绍了一种智能化电子式过载保护继电器。该过载保护继电器以电流幅值、正序分量、负序分量、零序分量及电压幅值的不同排列组合作为电动机的保护判据,以 PIC16F877 单片机作为核心部件,具有过载、断相、短路等多种故障自动诊断及串行通信等功能,从而达到了电动机保护智能化的要求。

关键词: 过载保护继电器; 智能化; PIC 单片机; 反时限; 串行通信

中图分类号: TM58; TM588.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)16-0041-03

## 0 引言

随着电力电子技术、微处理器技术以及通信技术的发展,电动机的保护装置大体经历了机电型、整流型、晶体管型、集成电路型和数字计算机型五个阶段。微机保护不仅把微机的运算能力、记忆能力、分析能力和通信能力赋予了继电保护,而且也为电动机保护原理的变化提供了可能。

由于电动机三相对称状态下的过流与不对称状态下的过流(存在反向旋转的负序磁场)烧伤电动机有着不同的机理和不同的危害边界,因此传统的电动机继电保护以三相电流量作为保护判据具有原理性的缺陷。因此我们摒弃了传统的保护原理,采用可反映电动机不同的故障特征正序分量(正向旋转磁场)、负序分量(反向旋转磁场)和零序分量(接地故障特征)作为保护判据,研制了一种基于 PIC16F877 单片机的可通信过载保护继电器。

## 1 电动机保护原理

### 1.1 对称分量法

对称分量法是把一组不对称的量,分解成几组对称的量后,再进行分析的方法。对于满足对称条件即大小相等且相量彼此之间的相位差也相等的三相系统,可分解为正序分量、负序分量和零序分量。

基于对称分量法,三相电流  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$  可分解为正序分量  $I_1$ 、负序分量  $I_2$  和零序分量  $I_0$  三个分量,其表达式可写为:

$$I_1 = (I_A + I_B + \sqrt{3}I_C) / 3$$

$$I_2 = (I_A + \sqrt{3}I_B + I_C) / 3$$

$$I_0 = (I_A + I_B + I_C) / 3$$

其中  $\alpha = e^{j2\pi/3}$ 。

若一个周期的采样点数为  $n$ , 根据微机的软件

算法可得到第  $K$  步正序电流、负序电流和零序电流的表达式分别为:

$$i_1(K) = \frac{1}{2} [i_A(K) - i_0(K)] + \frac{1}{2\sqrt{3}} [i_C(K - \frac{n}{4}) -$$

$$i_B(K - \frac{n}{4})]$$

$$i_2(K) = \frac{1}{2} [i_A(K) - i_0(K)] + \frac{1}{2\sqrt{3}} [i_B(K - \frac{n}{4}) -$$

$$i_C(K - \frac{n}{4})]$$

$$i_0(K) = [i_A(K) + i_B(K) + i_C(K)] / 3$$

### 1.2 故障判据的确定

故障信息及故障特征的提取和处理是电动机保护的关键所在。电动机的故障形式一般可分为对称性故障和不对称性故障两大类。

对称性故障的主要特征是三相基本对称但同时出现过电流,因此可通过检测电流幅值进行故障判断。

三相短路采用速断保护,故障判据为

$$I > I_{dlmax}$$

其中:  $I$  为电流有效值;  $I_{dlmax}$  为短路允许电流。

起动时间过长和堵转采用定时限保护,故障判据为

起动时间过长,当  $t > t_{STA}$  时,  $I > I_{STA}$

其中:  $I_{STA}$  为起动允许电流;  $t_{STA}$  为起动允许时间。

堵转,  $I > I_{dl}$ ,  $t > t_{dl}$

其中:  $I_{dlA}$  为堵转允许电流;  $t_{dlA}$  为堵转允许时间。

过载保护属于热保护,对此故障采用反时限保护,反时限特性与电机的温升指数特性相拟合。根据 GEC 公司提出的反映发热效应的“等效电流” $I_{eq}$  确定热过载的故障判据为

$$\int_0^T ((I_{eq}/I_N)^2 - 1.05^2) dt >$$

其中： $I_{eq}^2 = K_1 I_1^2 + K_2 I_2^2$ ； $K_1$  为正序电流系数(0.5, 1)，在电动机起动时间  $t_{STA}$  内， $K_1 = 0.5$ ，相当于保护动作电流提高 1 倍，以使保护动作避开正常的起动电流，在  $t_{STA}$  之后， $K_1 = 1$ ； $K_2$  为负序电流系数(3 ~ 10)，一般取 6； $\tau$  为电动机的发热时间常数。

根据对称分量法分析，负序和零序分量在电动机正常运行时没有或很小，一旦出现必然表示发生了不对称故障。不对称故障可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会引起三相电流不对称，此时定子电流可分解为正序和负序分量(零序为零)，因此采用负序电流分量及各相电流的情况作为此类故障的判据。

断相和不平衡采用定时限保护，故障判据为：

断相： $I_2 > 0$  且  $I_A = 0$  或  $I_B = 0$  或  $I_C = 0$

不平衡： $I_2 > 0$  且  $\frac{(I_m - I_{pj})}{I_{pj}}$   $_{bph}$

其中： $I_m$  为三相电流最大值； $I_{pj}$  为三相电流平均值； $_{bph}$  为允许的不平衡度。

逆相采用速断保护。故障判据为：

$$I_2 = I_A = I_B = I_C$$

发生接地性不对称故障时会出现零序电流分量。此类故障采用速断保护。故障判据为：

$$I_0 > 0$$

电动机的过压、欠压和失压保护是通过电压幅值来进行判断的。其中过压、欠压保护采用定时限保护，失压采用速断保护，故障判据分别为：

过压： $U > 1.20 U_N$

欠压： $0.35 U_N < U < 0.8 U_N$

失压： $U < 0.35 U_N$

其中： $U_N$  为额定电压； $U$  为电压有效值。

## 2 硬件设计

### 2.1 硬件结构

电子式过载保护继电器的硬件电路主要包括信号采集、信号预处理、PIC16F877 单片机、LED 显示、键盘输入、输出控制及串行通信电路等。硬件框图如图 1 所示。

PIC16F877 单片机以一定的时间间隔通过电流互感器、电压互感器进行电流和电压采样，采样信号经处理后，送入单片机端口，经片内 A/D 转换成数字信号，由单片机根据故障判据进行运算、分析、判断，再输出相应信号显示在显示器上并通过驱动电路推动执行机构进行控制、保护，同时通过串行通信

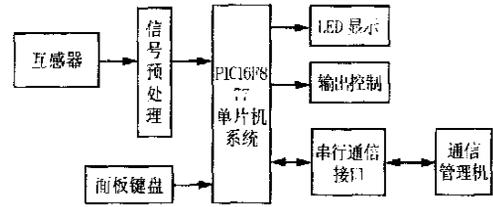


图 1 硬件框图

Fig. 1 Hardware diagram

接口，单片机接受通信管理机的查询，作出应答。

### 2.2 关键部件设计

#### 2.2.1 PIC16F877 单片机

单片机为硬件电路的核心部分，通过多方面的比较，在设计时选用了低功耗、高性能、性价比较高的 PIC16F877 单片机。此单片机采用 RISC 结构，本身具有高驱动电流和 6 路高速 A/D 转换输入。另外还具有片内 WDT 和掉电保护功能，因而具有良好的抗干扰能力，非常适用于工业现场控制。PIC16F877 单片机丰富的硬件资源在系统中得到了充分的应用，辅以少量的外围器件，即构成了一个功能完善、简便适用的系统。值得注意的一点是：PIC16F877 单片机的片内 A/D 转换为单极性，因此采集的双极性交流信号需经信号预处理电路放大、滤波、提升电位后变为单极性信号，才可送入单片机。根据互感器的衰减倍数及信号预处理电路的提升电压数值，通过软件可得出实际的 A/D 采样值。信号预处理电路如图 2 所示。

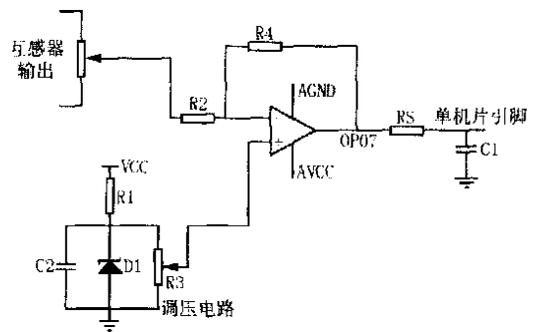


图 2 信号预处理电路

Fig. 2 Signal pretreatment circuit

#### 2.2.2 串行通信接口

信息化是当今电动机保护的一个发展趋势，设备之间的通信方式多种多样，在本设计中采用了串行通信。串行通信包括 RS-485 和 20 mA 环流方式等，本设计采用光电隔离的 RS-485 通信接口。

RS-485 接口是一种多发送器的通信接口标准，其可解决远距离传输及抗干扰问题，但与微型机(通



系统初始化过程中给 FIFO 输入一复位信号 FIFO-RST,以清空内部数据。

### 1.3.3 转换数据的读取

CPU 受转换结束信号 AD-END 触发后,产生读取数据中断。从图 4 可以看出 FIFO 的有效数据在读取信号 UNCK 上升沿后输出,而 CPU 的读数据是在数据就绪后利用读信号 RD# 的上升沿将数据锁存。所以可利用 RD# 信号产生一个下降沿一致而上升沿提前信号作为 FIFO 的 UNCK 信号输入。

FIFO 的读取作为一 I/O 口完成。

### 1.3.4 系统连接

连接图 7 所示的系统。图中 AD-END 接 CPU 的中断输入请求端。

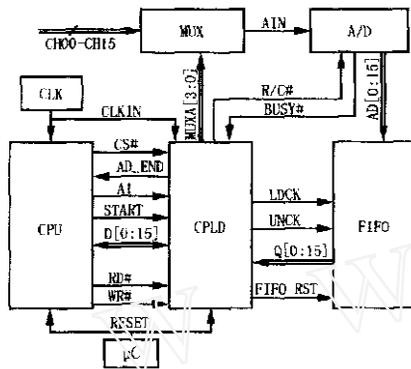


图 7 系统连接示意图

Fig. 7 Diagram of system connection

## 2 结语

由于本文所用的 CPLD 的触发器资源有限, FIFO 采用外接方式。如果使用触发器相对较多的 FPGA (Field Programmable Gate Array), 则完全可将 FIFO 集成到 FPGA 内部, 进一步精简电路。设计中的模拟通道数还可方便地扩展。本设计已得到样机的验证, 实践表明基于 CPLD 的 A/D 采样接口大大节省了软件参与 A/D 转换控制的时间, 使 A/D 控制更为简单, 显著提高了软件执行效率, 取得了令人满意的效果。

### 参考文献:

- [1] 薛宏熙, 刘素洁, 刘宝琴, 等 (XUE Hong-xi, LIU Su-jie, LIU Bao-qin, et al). MACH 可编程逻辑器件及其开发工具 (第二版) (MACH PLD and Its Development Tools, Second Edition) [M]. 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 1998.

收稿日期: 2003-11-10; 修回日期: 2003-12-15

### 作者简介:

陈明明 (1976-), 女, 工程师, 硕士研究生, 从事电力系统远动设备的研究与开发; E-mail: cmm@sac-china.com

李忠 (1973-), 男, 工程师, 硕士, 从事电力自动化设备的研究与开发;

郑华 (1970-), 男, 工程师, 硕士, 从事电力自动化设备的研究与开发。

## Interface of A/D auto-sampling based on CPLD

CHEN Ming-ming<sup>1</sup>, LI Zhong<sup>2</sup>, ZHENG Hua<sup>2</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Power Advance Technique Co., Ltd, Nanjing 210036, China)

**Abstract:** The sampling process of traditional relays is introduced. On analyzing the timing of FIFO and A/D, a new kind of auto-sampling interface based on CPLD is well designed. Given just one pulse by CPU, the interface will finish channelswitching, A/D-converting and data-storing in the correct order automatically by itself. After finishing all channels' sampling in each sampling period, it sends an end signal to interrupt CPU, and CPU reads all the channels data from FIFO. This design can really alleviate the task of CPU, improve the operation efficiency, simplify the design of software, and conduce to the design of modularization.

**Key words:** A/D auto sampling; CPLD; FIFO

(上接第 43 页 continued from page 43)

**Abstract:** An intelligent electronic over loadprotective relay is introduced in detail. This electronic overload protective relay takes the different permutations and combinations of current amplitude, positive sequence component, negative sequence component, zero sequence component and voltage amplitude as protection criterions, and takes PIC 16F877 single machine as a core part. It can finish the functions of automatic diagnosis of many kinds of failures such as overload, short phase and short circuit and serial communications. So it can meet intelligent need of electrical motor protection.

**Key words:** overload protective relay; intelligence; PIC MCU; inverse time; serial communications