

智能电动机控制与保护器的研究

许志红 张培铭 福州大学电气系 (350002)

【摘要】 利用单片机技术,在新型智能交流接触器的基础上,编制了完整的电动机保护程序,形成了初具规模的高性能、节能型、保护性能完善的新型智能电动机控制与保护器。

【关键词】 智能电动机控制与保护器 单片机

概述

90年代后,随着计算机信息网络的发展,低压配电系统和电动机控制中心已形成了统一的智能化监控、保护与信息网络系统。它由智能化开关设备、监控器及中央计算机和可编程逻辑控制器(PLC)三部分组成。为了满足智能化网络系统的需要,开发和研究多功能、智能化的高性能、高可靠性的交流接触器和电动机控制与保护器成为当务之急。

以智能化的电磁起动器为例,美国西屋公司(Westinghouse)推出的“Advantage”新系列(以下简称为“A”系列)的智能化电磁接触器和电磁起动器被应用于综合监控、保护和通讯系统 IMPCC(Integrated Monitoring Protection and Control Communication System)。该系列产品以其独特的优越性能,使其在一定程度上代表了当今智能化电磁接触器和电磁起动器技术发展动向和水平。目前,在我国还未见到类似的产品出现。这种产品由于可靠性高,必定会给配电控制系统带来好处,可以方便的应用于智能化网络系统,可以带来巨大的社会效益,另一方面也能为产品的制造厂家带来可观的经济效益。尽快开发类似产品能使我国低压电器产品追踪国际上的最新技术,成为当务之急。

本文在智能交流接触器的基础上,研究了保护性能完善的智能电动机保护器。并用新系列单片机编制了完整的电动机保护程序,这种保护器能提供过载、断相、反相、失压、过

压、欠压和三相电流不平衡等一系列保护。对电动机运行过程的热积累问题进行了分析和探讨,形成了初具规模的高性能、节能型、保护性能完善的新型智能电动机控制与保护器。

1 工作原理

本设计采用了一种全新的、简单可靠的、智能化的节能控制线路。在触头弹簧加强,铁心小于原 CJ20-100A 铁心的样机上,对交流接触器的节能控制方案进行了进一步的研究,使用集成化很高的新系列单片机对交流接触器起动、吸持、分断三个过程实时控制,找出了最佳合闸相角。并分析研究了同步分断的过程,使智能交流接触器达到最佳工作状态。

在智能交流接触器的基础上,发展智能电动机保护器形成新一代智能电动机控制与保护器,国内尚属首创。研制保护功能完善、性能可靠的新型智能电动机保护器是电动机保护器研究的方向。为了实现电动机智能保护,必须要有一套可以对外部信号进行检测和控制的硬件和软件系统,当线路呈现过载、短路、失压、欠压、断相、反相等一系列故障时,保护系统通过检测、判断发出跳闸命令。因此,该系统必须时刻检测外部信号的变化,通过硬件系统把外部信号送到微处理器,由微处理器进行分析和判断,一旦线路上发生某种故障时,微处理器立即发出控制信号(或延时)转到执行机构,以实现相应的故障切除。

本设计采用性能优良的新型单片机作为其控制的核心部分。此单片机采用 RISC 结构的高性价比嵌入式控制器,其高速度、低电压工

作,低功耗强大驱动能力,低价 OTP 技术,体积小等都体现了单片机微控制器工业的新趋势。该单片机带有 8 路 A/D 转换,内部 E²PROM 双时钟工作,捕捉输入, PWM 输出,具有串行通讯、模拟电压比较器及 LCD 驱动等等。它具有多种复位方式、多种中断功能、低功耗睡眠功能、掉电复位锁定。在其内部还集成有上电复位电路,看门狗电路, I/O 口弱上拉等,可以大大减少外围器件,节省空间和成本。其硬件连接图如图 1:

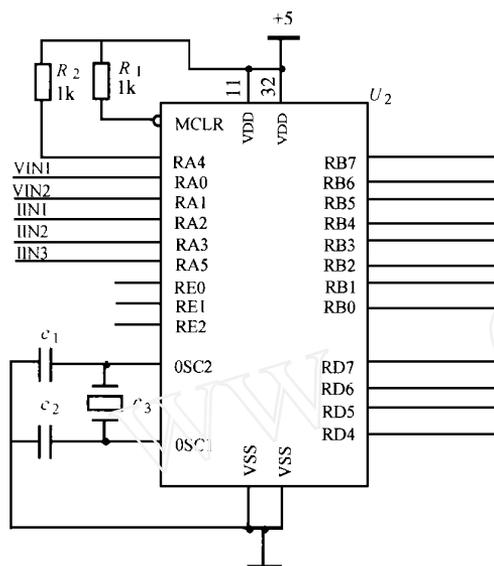


图 1 单片机硬件连接图

将主电路三相电流、电源电压及接触器线圈电源电压变换以后的信号输入单片机,再辅以相应的电子线路,就构成了其硬件系统,其控制原理框图如图 2。

由图 2 可以看出,输入单片机的信号有六路,两线电压信号和三相相电流信号以及接触器的电源电压信号,分别经过不同的电压互感器和电流互感器,通过采样电路输入计算机由软件进行处理。为了适应不同场合电动机的保护需要,可通过 BCD 拨码盘来设定选择其保护功能。通过 BCD 拨码盘设定来获得不同的过载动作时间,从而适用于不同类型的电动机保护需要。通过电流整定旋钮可调整电流 1~3 倍,因而可适用于几种不同额定值的负载。

复位方式可分为手动方式和自动方式,自动方式是由微处理器控制的。

当故障发生后,可由 LED 显示故障类型及故障电流的大小,同时还可以使报警指示灯闪烁,以方便排除故障。而这一切的实现,有赖于完整的软件系统来实现。

交流电动机在运行过程中可能出现的故障有过载、短路、电压不平衡及断相等,此外对于不允许反相运行的交流电动机系统,一旦发生电源电压反相序,就会造成严重的后果。要用单片机检测并处理这些故障,首先必须对故障进行数学处理,变成单片机可以接受的形式。变换方案不同系统的软硬件设计方法也不同。本文采用的数学处理方法是基于对采样的三相电流进行对称分量处理,求出它们的正序、负序和零序分量,在电动机不同运行状态下,这三种分量的大小及相互之间比例关系不相同,单片机根据计算结果即可作出准确的判别和处理。

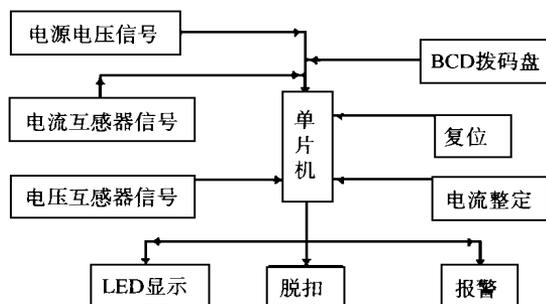


图 2 电路原理框图

研究电动机智能保护问题,最困难的就在于如何处理电动机运行过程中的热积累问题。电动机过载是由外部(负载)施加于电动机的一种运行状态。电动机的热惯性使它具有一种可加以利用的短暂过载能力,因此短时超载仍属正常运行,只有热量的积累到使电动机绕组的实际温升达到会显著降低绝缘寿命的程度时,才要求保护电器给予保护。由此可见,在众多的电动机保护中,过载保护是最基本和最有效的事前保护。为了更好地研究电动机的过载保护问题,本文做了大量的电动机温升实验,寻求一种计算热积累最佳途径。

2 电动机过载保护的数学模型

由于正序分量的电流使转子沿正常方向旋转，负序分量的电流则产生两倍于电源频率的反向旋转磁场，该磁场产生负序转子电流，由于集肤效应的影响，负序分量的转子电阻是正序分量转子电阻的3~8倍。因而，负序分量的电流在转子上产生的热量要比正序分量电流影响更大。热保护的过载动作时间是与电动机的热特性相配合的反时限特性。精确地模拟电动机运行过程中的热量积累与发散是热保护的技术难点。电动机的发热量 Q 与流过绕组的电流满足下列平衡关系：

$$Q = i^2 dt - F(I) \cdot t$$

式中 $i^2 dt$ 项是绝热过程中产生的总发热量；

$F(I) \cdot t$ 项是电动机散发的总热量；

$F(I)$ 是单位时间散热修正系数，该系数较难计算。负载电流不同其散热修正系数 $F(I)$ 也不同，可以认为绝热情况下 $F(I) = 0$ 。目前，尚未有较精确反映在不同的过载情况下电动机所能允许的最大过载时间曲线。故以热继电器保护特性作为依据来计算 $F(I)$ 系数。若以电动机通过以6倍额定的电流值在10s内电动机积累热量作为差别依据，即 $C_0 = I^2 t = 10 \cdot (6I_e)^2$ 当电动机热积累 $Q = C_0$ 时。电动机保护器就必须动作；当 $Q < C_0$ 时，电动机则继续运行。根据上述电动机允许的最大热容量 C_0 ，我们可以算出在绝热情况下，不同电流倍数时智能电动机控制与保护器应该动作的时间并绘出曲线3（见图3）。

图3中，曲线1表示电动机允许发热特性；曲线2表示保护器热保护特性；曲线3表示绝热过程保护特性。为了考虑三相电流不完全对称的影响，将式（1）修正为：

$$Q = (i_p^2 + Ki_N^2) dt - F(I) \cdot t \quad (2)$$

式中 t ——过载时间；

i_p ——绕组电流的正序分量；

i_N ——绕组电流的负序分量；

K ——负序电流效应系数，一般 K 值取6；

$F(I)$ ——单位时间散热修正系数；

C_0 ——发热量常数，可根据6倍额定电流下允许过载时间内产生热量求得： $C_0 = (6I_e)^2 \cdot T_6$

I_e ——额定电流有效值，由电流整定旋钮设定；

T_6 ——指6倍额定电流下允许过载时间，由BCD拨码盘设定。

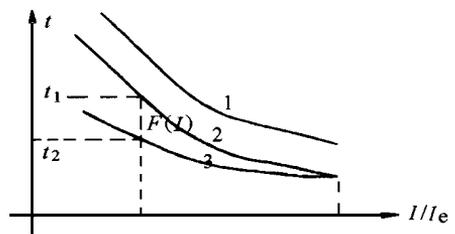


图3 反时限保护特性

当电动机过载时，微处理器以一定的间隔连续采三相电流的瞬时值，分别存储于内存单元，然后可以根据此算出一个电源周期内三个采样点上的正序、负序和零序电流值，可以计算出正、负序电流分量 I_p 和 i_N 。当电动机发生过载 ($I > I_e$) 时，微处理器就以一定的周期开始“热量”积累计算：

$$Q = \sum_{i=1}^n [I (I_p^2 + Ki_N^2) \cdot t - F(I) \cdot t] \quad (3)$$

式中， K 取6； I_n 、 I_p 可编程计算； C_0 为6倍额定电流值，在10s内的热量 $C_0 = 10 \times (6I_e)^2$ ；而根据保护特性，我们很容易标出不同电流倍数下散热修正系数 $F(I)$ 值， $F(I)$ 可如下计算：

$$F(I) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} I^2 dt = \frac{t_2 - t_1}{t_2} \cdot I^2 \quad (4)$$

t_1 、 t_2 的计算见图3所示。现将所求 $F(I)$ 值列于下表：

表1 单位时间散热修正系数 $F(I)$ 值

$F(I) \cdot 0.92 I_e$	$0.79 I_e$	$0.33 I_e^2$	$0.25 I_e^2$	$0.20 I_e^2$	$0.15 I_e^2$	$0.07 I_e^2$	0
I/I_e	1	1.2	1.5	2	3	4	5
	6						

可将此表输入单片机求得 $F(I)$ 值。当 $Q = C_0$ 时表示允许过载时间已到，此时微处理器给出脱扣信号以及相应的过载指示。

3 其他保护功能

3.1 断相及电压不对称保护

断相是电动机运行中最常见的故障之一，而其产生故障的原因也是复杂多样的。但总体上可分为两大类，一类是来自电源及线路的故障；另一类是来自电动机的故障。来自电源及线路的故障，其故障主要表现在电压上，这就为能在电动机起动前判定故障提供了思路。常用的断相保护方法有：

(1) 在一个半波，对某相电流进行多次采样，采出瞬时值不为零的话，无断相。若采出不同时刻（一个周波连续采三点以上）的瞬时值均为零，则认为断相。

(2) 利用有效值来判断，计算其电流有效值为零，则认为断相，否则无断相。

(3) 利用最大值判断，最大值为零则断相，不为零则无断相。

(4) 利用正序、负序、零序电流的计算方法。

来自电动机的断相表现比较复杂。首先是由于电动机的绕组接法有 Y 形和 形两种，其断相表现有所不同。其次是断相可能出现的部位很多，而且表现出来的现象可能有所不同。对于 Y 形接法的电动机，主回路的任一处断相可根据线电流来判断。而对于 形接法的电动机，若在绕组出现断相，则只能根据三相电流的不对称来判断了。

有资料表明：当线电压的不平衡率为 4% 时，所引起的线电流不平衡率高达 25%；若电动机三角形接法绕组断线，所引起线电流不平衡率大于 28%。因此，可由下式计算出电流不平衡率来作为断相及电压不平衡率的判断依据。

$$= \frac{(I_m - I_{pj}) \times 100\%}{I_{pj}} \quad 25\% \quad (5)$$

式中 I_m ——三相电流最大值；
 I_{pj} ——三相电流平均值。

3.2 电源电压反相序保护

反相保护是通过判别三相电流的相序是否正常来实现，当 A 相电流正相过零时，C 相电流大于零，相序正确，否则反相。软件程序只需在电动机起动时对反相故障进行判断。

3.3 失压、欠压、过压保护

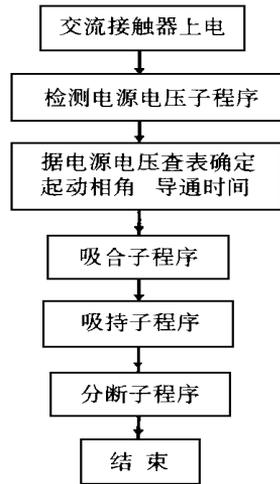


图 4 控制部分程序总体框图

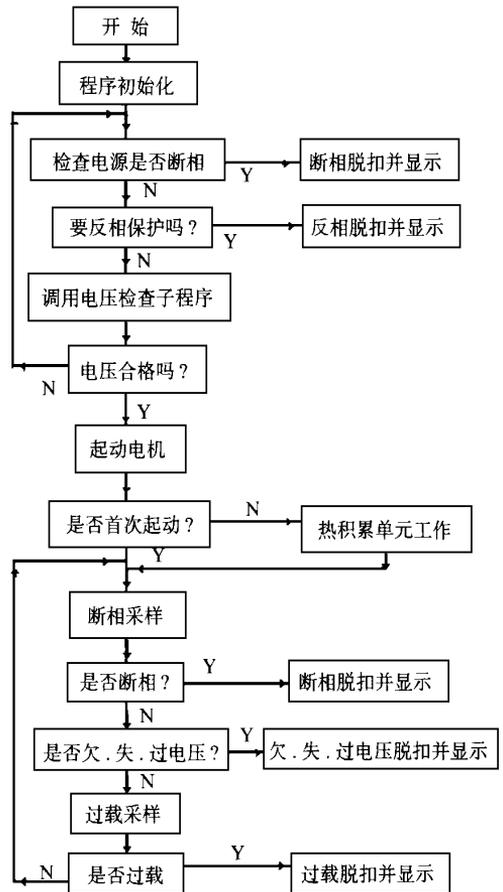


图 5 保护部分主程序软件框图

线路上的电压信号，经电压互感器降压后送到单片机的模拟口，求出电压的最小值，并与电压基准值比较，可进行如下判断：

- (1) 当电压小于 $35\% U_e$ 时,脱扣器应该立即动作(失压);
- (2) 当电压大于 $35\% U_e$ 而小于 $70\% U_e$ 时,延时一定时间脱扣(欠压);
- (3) 当电压大于 $70\% U_e$ 而小于 $130\% U_e$ 时,正常工作;
- (4) 当电压大于 $130\% U_e$ 时,脱扣器应该立即动作(过压)。

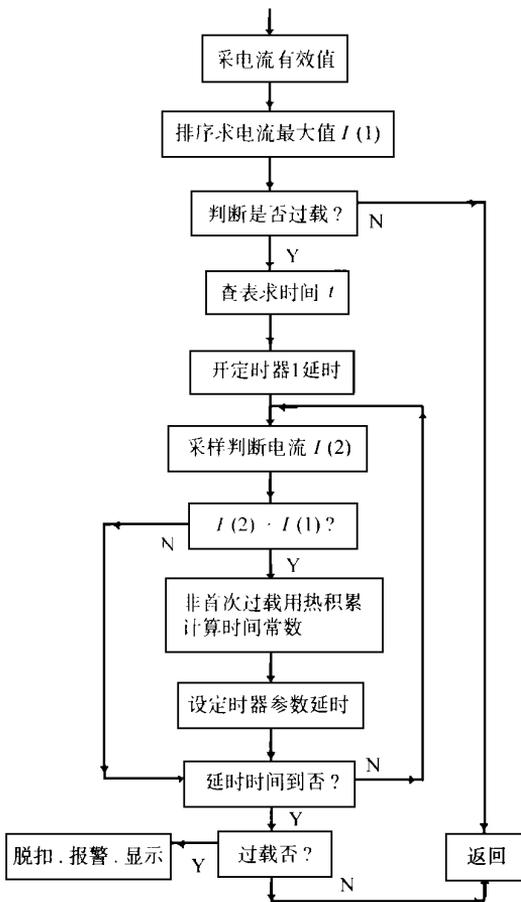


图6 过载保护框图

4 智能电动机控制与保护器的软件设计及原理分析

硬件系统是智能保护器的“肢体”,而软件系统才是智能保护器的“灵魂”。在软件系统的指挥下,保护器就能够完成其一系列的保护工作。下面介绍其主要的软件框图。

- (1) 智能控制部分的程序框图
- (2) 智能保护部分的主程序框图
- (3) 过载保护子程序

我们将检测到的电流有效值通过排列子程序求出最大电流值与额定电流值的比较,如果其值大于1,可根据反时限保护特性曲线,利用插值法求出对应于该过载电流的动作时间,由定时器延时一段时间后,脱扣器动作。

由于过载保护动作时间的选择上因是否为首次过载而不同,因此,在确定延时时间时,就要分清是否首次过载。首次过载时,由于保护特性曲线是以表格的形式存放于单片机内,所以在计算动作时间时,必须根据线路上电流的大小用线性插值法求出。非首次过载时,要考虑热积累效应。

5 结论

本文在智能交流接触器基础上,溶入智能电动机保护器的内容,形成了一种可实现同步分断等功能的新型智能电动机控制与保护器,这种方案保护功能完善、节能节材,工作可靠、具有高机械寿命和电寿命,将使传统的接触器、起动器产品得到突破性进展。此产品可以方便地应用于智能化网络系统,可以带来巨大的社会效益。

参考文献

- 1 王汝文,顾水平. 用单片机保护交流电动机的数学处理方法. 低压电器,1998,(2).
- 2 李光辉,张培铭,江和. 带有微处理器的电子式热继电器. 低压电器,1995,(5).
- 3 张培铭. 交流电磁电器动态控制技术的研究. 电工技术学报,1995,(4).
- 4 陈德桂. 智能化电器的监控、保护与信息网络系统. 低压电器,1996,(4).
- 5 康荣. 智能化电磁接触器和电磁起动器. 低压电器,1997,(2).

许志红,女,1963年生,硕士,讲师,主要从事智能电气的研究工作。 (下转 34 页)

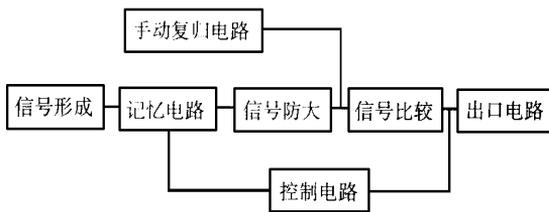


图1 冲击继电器的原理框图

1.2 记忆电路:记忆报警电流来到时刻前信号的幅值,比较报警电流来到时刻前后信号的幅值,如果有长信号和短信号重叠的情况,在预告信号延时期内,只要长信号不返回,保证正确报警,长信号不会被短信号“抹掉”。

1.3 信号放大回路:信号放大回路由两级放大器构成,放大倍数均为3倍,第二级放大器采用减法放大器,这样在第二级放大器中减去了第一级放大器的偏压,从而保证在没有信号输入时信号放大回路的输出电压为0V,当有信号输入时在信号放大回路中将输出一个放大了9倍的电压信号。此外,每级放大器的构成中均设有滤波电路用于消除电源纹波的影响和加强抗干扰性能。

1.4 信号比较电路:信号比较电路由两级比较器构成,每级比较器的输出端接有由电阻和电容组成的充放电电路。第一级比较器设有门槛电压,当输入信号的电压大于门槛电压时,第一级比较器的输出端由正电平翻转为负电平,从而接通与其相连的充放电电路使其放电,当放电电压达到第二级比较器的偏压时,第二级比较器的输出端由负电平翻转为正电平,从而驱

动出口电路,使其发出报警信号。第二级比较器的输出端翻转后,接通与其相连的充放电电路使其充电,其充电电压又反馈到第一级比较器,当充电电压大于输入信号的电压时,第一级比较器复归,从而可以实现预告延时和报警定时。

1.5 控制电路:控制电路主要用来控制记忆电路,在信号未到之前隔掉记忆回路上的直流电压,当信号到来后,记忆回路的增量电压,用于其后电路进行放大和比较,从而进行智能比较。

1.6 手动复归电路:电源的正电压经降压后施加于比较回路,实现手动复归。

2 结论

该继电器除解决了冲击回路中长信号和短信号重叠时,长信号会被短信号“抹掉”而拒绝报警的问题外,还内附有延时预告信号的时间元件和报警定时时间元件,可省去外部的两只时间继电器,在音响报警时,除手动复归音响外,该继电器经定时回路自动解除音响。此外,该继电器在对白炽灯光字牌灯丝冷热态电阻的变化、电流纹波以及触点抖动的影响均有较强的抑制能力,保证继电器正确动作。另外,通常的冲击继电器在光字牌短路的情况下会损坏继电器,在本继电器中设有熔断器,当光字牌短路时,熔断器熔断,只要更换熔断丝继电器即可恢复工作,可防止光字牌短路时损坏继电器。

1998—09—24 收稿

DESIGN SCHEME OF A NEW INRUSH RELAY

Yang jitao, Chi Lijiang (XI Electric Corporation, 461000, Xuchang, China)

(上接 26 页)

RESEARCH OF INTELLIGENT MOTOR CONTROLLERS AND PROTECTORS

Xu Zhihong Zhang Peiming (Fuzhou University, 350002, Fuzhou, China)

Abstract In this design, the author have made the integrated protection - motors - procedures by the single - chip - microcomputer. A good functions, saving energy and consummated protect functions motor intelligent controller and protector have formed. It is based on the intelligent AC contactor.

Key words Motor intelligent controller and protector Single - chip - microprocessor