

智能低压电动机保护装置的研究

易攀,石一辉,张承学

(武汉大学电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要:介绍了一种新型的低压电动机保护装置的设计方案。在该设计方案中,硬件部分采用 C8051F020 单片机完成了数据的采集、计算和保护的判定等功能,面板的显示和整定值的输出则由 AT89C55 单片机实现。软件部分的主要特点是依据差分滤波算法对全波傅氏算法进行了改进,有效地抑制了电力系统中衰减的直流分量,并且建立了电动机的等值发热模型,从原理上解决了低压电动机的热保护问题,相应简化了装置硬件部分的设计。

关键词:电动机保护; 减法滤波; 衰减的直流分量; 单片机; 过热保护

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)19-0007-04

0 引言

在电力系统中,75 kW 以下的电动机一般放在 MCC(Motor Control Center)段上。在传统的 MCC 供电回路中,一次回路一般以塑壳断路器、接触器、热继电器等低压元件构成,在传统的二次回路中往往以控制、联锁开关、按钮、继电器、变送器、测量仪表、信号灯等作为实现控制、保护、联锁、测量、信号功能的设计,在这种设计中,工作量大且设计者需时时与设计要求相协调,使得设计的通用性降低,增加用户现场调试及维护的工作量。基于此问题,本文研究开发了一套低压电动机综合保护装置,该装置依据理论推导运用差分滤波对全波傅氏算法进行了改进,有效抑制了电力系统中衰减的直流分量。并且采用数学方法建立电动机的发热模型,从原理上解决了低压电动机的热保护问题。整个设计中,通过改进软件来完成许多由硬件来实现的功能,从而简化了装置硬件部分的设计。增强了装置的通用性。提高了设计与生产效率,同时降低了用户现场调试及维护工作量。

1 衰减直流分量的抑制

在本次设计中,电压、电流的计算采用的是最常用的全波傅氏算法,全波傅氏算法虽有很强的滤除谐波的能力,但算法本身不能滤除衰减的直流分量。为了克服衰减的直流分量的影响,作者采用差分法对傅氏算法进行了改进。

1.1 差分法的基本原理

差分算法^[1]的公式为:

$$y(n) = x(n) - h \cdot x(n-1) \quad (1)$$

式中: h 为常数,为了便于单片机的计算,取 $h = 1$ 。 $x(n)$ 为 n 时刻所采集的数据; $x(n-1)$ 为 $n-1$ 时刻的采集数据。

该方法是对信号进行一次减法滤波,然后进行傅氏算法。其特点是计算简单,能在一定程度上抑制衰减的直流分量,并且容易在单片机上得以实现。其缺点是会改变傅氏算法的幅频特性。

1.2 改进后的傅氏算法的幅频特性

下面从频域的角度来讨论减法滤波器的滤波特性^[2]。对式(1)进行 Z 变换,得

$$Y(z) = (1 - z^{-K})X(z) \\ H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 1 - z^{-K} \quad (2)$$

式(2)就是差分滤波器的传递函数。以 $z = e^{jT_s}$ 代入,得

$$H(e^{jT_s}) = 1 - e^{-jK T_s} \\ H(e^{jT_s}) = 1 - \cos K T_s + j \sin K T_s$$

其幅频特性为

$$A(\omega) = |H(e^{jT_s})| = \sqrt{(1 - \cos K T_s)^2 + (\sin K T_s)^2} = \sqrt{2 - 2 \cos K T_s} = 2 \left| \sin \frac{K T_s}{2} \right| \quad (3)$$

其相频特性为

$$\phi(\omega) = \arg H(e^{jT_s}) = \arctan \frac{\sin \frac{K T_s}{2}}{1 - \cos \frac{K T_s}{2}} = \frac{K T_s}{2} \quad (4)$$

式中： K 为谐波的次数； ω 为基波的角频率； T_s 为采样周期。

低压电动机保护主要用到了基波的幅值，所以在这里只讨论基波的幅频特性，则 $K=1$ ， $\omega=100$ ，设 $T_s=0.001$ s，代入式 (3)、(4)中得：

$$A=0.3129 \quad (5)$$

$$\phi=0.45 \quad \phi=81^\circ \quad (6)$$

从计算的结果可以看出，经差分滤波以后所计算出来的基波幅值是输入信号基波幅值的 0.3129 倍，相位超前 81° 。所以通过改进后的傅氏算法计算出的基波幅值和相位在单片机内还要经过比例和相位处理才能得到输入信号基波的幅值和相位。

1.3 算例仿真

设输入信号为：

$$i(t) = 20e^{-t/30} + 20\sin(t + \pi/6) + 10\sin 3t + 5\sin 6t$$

设： $\tau=30$ ms

图 1 的仿真考虑了暂态信号中的衰减直流分量。从图 1 显示的波形可以看出，当输入信号中包含衰减的直流分量时，傅氏算法计算出的基波 (y_1) 幅值明显比输入信号的基波 (y) 幅值要大。这是因为，对衰减的直流分量进行频谱分析，会得到一个基频分量叠加在了原输入基波上，而差分傅氏算法计算出的基波幅值比输入信号基波小，角度也超前。计算结果显然是符合式 (5)、(6) 的规律的。

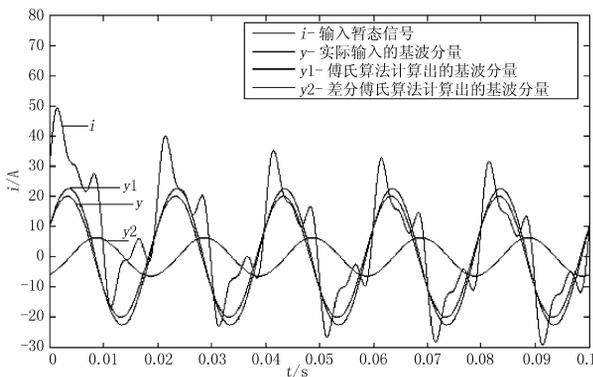


图 1 输入暂态信号波形仿真

Fig 1 Simulation waveforms of transient signal

傅氏算法的精度与时间常数 τ 是有关的，设每周波采样 20 个点，通过傅氏算法分别将加入差分和未加入差分的基波幅值误差曲线绘出。

由图 2 可以看出，曲线一 (未加入差分所计算出的基波幅值误差曲线) 的最大误差出现在 $t=7$ ms 左右，此时 $|e_{\max}|=25\%$ 左右，此后误差随 t 的增加缓慢减小；在加入差分后，曲线二 (加入差分所计

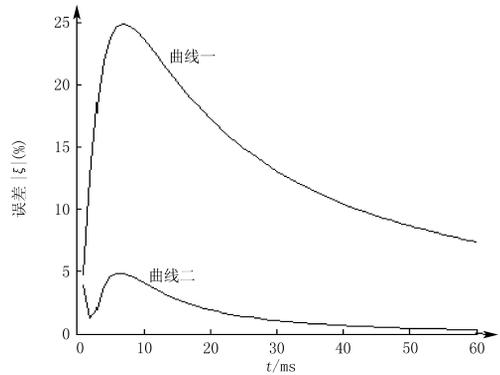


图 2 基波幅值误差曲线

Fig 2 Amplitude errors of fundamental component

算出的基波幅值误差曲线) 的误差明显减小，且始终是小于 5%。在 6 ms 以后，误差随 t 的增加逐渐接近于零。

2 发热模型的建立

电动机最常见的也是最严重的不正常工作状态是由过负荷引起的过电流，长时间的过负荷将使电动机温升超过允许的数值，使绝缘迅速老化甚至引起故障。该装置设置了过热保护，反映定子、转子绕组的平均发热状况，防止电动机过热。在装置中设置一个模拟电动机发热的模型，电动机的主要损耗包括铜损和铁损，由于总的损耗 P 与 I^2 成正比，而在电流一定的情况下，电动机的稳定温升与电动机的损耗成正比，所以，电动机的稳定温升与电流的平方成正比。考虑到正、负序电流的发热效应不同，在发热模型中采用热等效电流 I_{eq} ，其表达式为：

$$I_{eq} = \sqrt{K_1 I_1^2 + K_2 I_2^2}$$

式中： I_1 为正序电流； K_1 为正序电流发热系数，电动机启动前 $K_1=0.5$ ；电动机启动后 $K_1=1$ ； I_2 为负序电流； K_2 为负序电流发热系数，取 $K_2=1\sim 8$ ，一般取为 6。

过负荷反时限保护模拟电动机的发热，当等效电流 I_{eq} 大于过负荷电流时，电动机开始热量积累，当等效电流 I_{eq} 小于过负荷电流时，热积累通过散热逐渐减少；当热量积累至告警或跳闸定值时，保护动作于信号或跳闸。

电动机的热积累量 Σ 为：

$$\Sigma = \int_0^t [I_{eq}^2 - (1.05 I_c)^2] dt = \sum [I_{eq}^2 - (1.05 I_c)^2] t$$

其中： t 为积累过热量计算间隔时间，本装置取 t

$=0.1s$; I_L 为低压电动机的额定电流。

当过负荷保护动作,跳开电动机后,电动机有一个散热过程,需要等待热量散发到一定程度时,跳闸出口返回,才允许再次合闸。

3 硬件系统设计

合理的硬件设计是协调各个功能模块有效工作的基础。传统的单 CPU 的系统结构已难以满足多任务并行运行的多功能综合保护装置的设计要求。该装置的设计采用了两 CPU 的冗余结构。在本次设计中,采用 C8051F020 单片机作为保护处理器,完成交流采样、电量计算、故障判断、保护动作等基本功能。

另外一片 8 位的单片机 AT89C55 则完成控制液晶显示、面板操作与保护处理器 C8051F020 交换数据等高级功能。保护处理器与 AT89C55 之间的数据采用串行通讯的方式实现。上位机和保护主机之间的数据交换,是通过通讯方式来实现的。本装置选用 RS485 接口作为通讯媒介,以 ModBus 通讯协议实现系统组网。

装置的硬件结构一般采用模块化的设计,这样各模块之间的分工明确,如果一部分出现问题,也便于及时调整。我们把装置分为 5 个功能模块^[3-5],即:(1)电源模块:负责连续可靠的给各个模块提供不同电压的直流电源;(2)微机模块:保护主机 C8051F020、采样保持器、A/D 转换器;(3)信号及出口模块:包括所有的信号继电器和出口继电器,是保护装置的出口执行部分;(4)模拟数据处理模块:包括电流互感器 CT 和电压互感器 PT、变送器、低通滤波电路;(5)人机交互模块,此模块主要有液晶显示控制主机 AT89C55、点阵液晶显示器 YM12864、通讯接口卡组成。

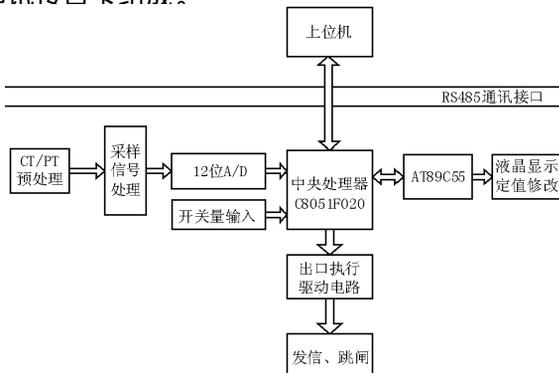


图 3 装置的硬件结构框图

Fig 3 Diagram of hardware structure of the device

4 软件结构设计

本次设计中,三相电压、电流是每一毫秒采样一次,而实时显示的电压、电流、过热量每五毫秒刷新一次。在这五毫秒内要完成电量的采集、傅氏计算、序分量计算、故障判断,并且要与显示单片机通讯,所以主程序分为五个部分,即每一毫秒完成其中的一个任务后,返回等待采样,采样是通过查询方式来处理的,尽管查询的方式会让 CPU 处于等待的状态,但合理的程序安排可以提高 CPU 的利用率。主程序流程图如图 4 所示,其中 XT 为标志位,XT 的五种取值分别对应主程序的五部分功能。

在硬件的划分中,已经明确了两片 CPU 的任务^[6]分工,因此在软件的设计中也要遵循这一原则,即主 CPU 主要完成装置的基本功能;面板单片机则完成显示、整定值设定等高级功能;两单片机之间的数据交换通过串行通讯的方式来进行,串行口通讯程序中发送方的工作方式始终都是采用查询方式,接收方的工作方式在不同的工作状态下不同。在运行状态下由于要实时显示三相电压、三相电流,因此通讯程序中采用了中断方式,面板单片机 AT89C55 为接收方,随时准备进入串行口中断子程序接收电压、电流等计算值,并存储到相应的内存单元加以显示;在调试状态下,面板单片机 AT89C55 为发送方,将显示面板整定的参数传给保护单片机 C8051F020,保护单片机采用查询方式接收参数整定值。

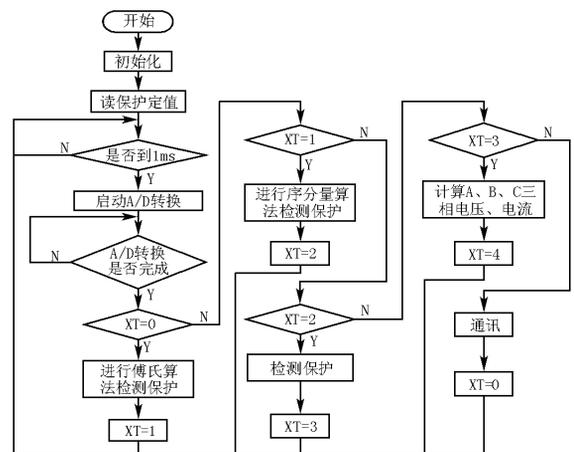


图 4 软件流程图

Fig 4 Flow chart of software

5 结论

本文通过对电动机运行过程中各种故障情况的

分析,利用数学模型并模拟电动机温度变化的过程,并利用单片机技术进行运算、分析、处理,实现了对电动机多种故障的综合保护以及电动机运行情况的监控。

参考文献:

- [1] 胡志坚,张承学,陈允平,等. 滤除衰减非周期分量的微机保护算法研究[J]. 电网技术, 2001, 25(3): 7-11.
HU Zhi-jian, ZHANG Cheng-xue, CHENG Yun-ping, et al Study on Protective Algorithm for Elimination of Decaying Aperiodic Component[J]. Power System Technology, 2001, 25(3): 7-11.
- [2] 罗士萍. 微机保护实现原理及装置[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.
LUO Shi-ping The Principles and Devices of Relay Protection Realized by Microcomputer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [3] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1992.
CHENG De-shu The Principles and Technologies of Computer Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1992.
- [4] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社, 1994.

HE Jia-li, SONG Cong-ju The Principles of Relay Protection in Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

- [5] 张楠,黄益庄,李璇华. 综合保护装置中的多任务处理[J]. 继电器, 2003, 31(3): 31-32
ZHANG Nan, HUANG Yi-zhuang, LI Xuan-hua Multi-task Processing in the Integrated Protection Device [J]. Relay, 2003, 31(3): 31-32.
- [6] 佟伟明,李中伟,倪文利. 基于 PC116F876单片机的智能低压电动机保护器的研究[J]. 继电器, 2005, 33(2): 43-46
TONG Weiming, LI Zhong-wei, NI Wen-li Study of an Intelligent Low-voltage Integrative Motor Protector Based on PC116F876 Single Chip [J]. Relay, 2005, 33(2): 43-46.

收稿日期: 2006-05-15; 修回日期: 2006-06-28

作者简介:

易攀(1983-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化; E-mail: judy_yipan@yahoo.com.cn

石一辉(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化;

张承学(1953-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统自动化。

Study of low-voltage motor protection devices

YI Pan, SHI Yi-hui, ZHANG Cheng-xue

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper presents a new-type design scheme for low-voltage motor protection devices. In this design scheme, the hardware adopts C8051F020 single-chip which accomplishes the data acquisition, calculation and protection determination, while the display and the output of set-value are realized by AT89C55 single-chip. The main characteristic of software is utilizing differential-filtering to improve full-wave Fourier algorithm and effectively restraining decaying DC component. Thermal model of low-voltage motor is also established and it has solved the overheating protection problem of low-voltage motor on principle, and thus simplified the hardware design.

Key words: motor protection; differential-filtering; decaying DC component; single-chip; overheating protection

许继电气荣膺“中国电气工业 100强”

日前,由《电气时代》杂志社主办的“第三届中国电气工业发展高峰论坛暨第七届中国电气工业 100强发布会”在北京举行。在其发布的“第七届中国电气工业 100强”名单中,许继电气股份有限公司列第十三名。

据了解,“第七届中国电气工业 100强”入围标准为 43605 万元,电气 100 强企业 2005 年的收入和利润同步增长了 30% 左右,产品销售收入突破 1000 亿元大关为 1178 亿元,总利润突破 100 亿元为 119 亿元,利润率为 10.1%,与上一届持平。

“十一五”期间,中国的电气市场将是全球创新的中心,在中国电气领域的创新能力将决定企业在中国甚至全球世界电气市场的竞争力。围绕着“奋战自主创新、节能环保的新电气时代”的主题,与会专家分别从国家宏观经济政策、电气行业的战略创新、电力和石化等行业对电气设备的创新需求等进行了深入分析,部分国内知名电气企业负责人及代表就创新和品牌建设等方面的成功经验进行了交流。