

异步电动机微机型综合保护研究

张连斌 蔡泽祥 谭敦生 东北电力学院 (132012)

【摘要】 本文讨论了基于检测正、负、零序电流分量的异步电动机微机综合保护的原理和实现,所研制的微机保护装置能够保护电动机的所有常见故障,并具有智能化的故障诊断功能,显示出良好的推广应用前景。

【关键词】 异步电动机 微机保护 对称分量法

概述

我国异步电动机的主保护是由感应型过流继电器构成的短路速断保护和过载反时限保护。这类保护主要是以电流增大作为故障判据,因此对于断相、不平衡运行等不对称故障,常常不能及时有效地保护。另一方面,对于电磁型过流继电器,现场运行中普遍存在着保护特性不理想、整定困难等问题。

本文作者在文^[1]中提出了基于检测正、负、零序电流分量的电动机保护判据,该判据能够较好地识别故障类型及程度,能够基本覆盖电动机的各类常见故障,在保护原理上具有很大优势。

本文基于以上保护判据,研究了异步电动机微机保护的实现问题,应用MCS—51单片机研制了微机型电动机综合保护装置,现场运行表明,本文研制的保护具有完善的保护功能及保护特性,显示出良好的推广应用前景。

1 异步电动机微机保护原理

根据对称分量法分析,当电动机发生各类对称、不对称故障时,故障电流可分解为正序、负序和零序分量。而且,各序电流的不同组合及幅值大小与故障类型之间有很好的对应关系,据此本文的保护由过流保护、负序保护、零序保护三部分构成。

1.1 过流保护

过流保护所针对的故障是各类短路故障及热过载,保护特性分别为短路速断和过载反时限。过流保护实际是通过电流幅值模拟电机的发热,考虑到负序电流引起的发热要远大于相同幅值正序电流所导致的发热^[3],本文过流保护依据式1的等效电流 I_g :

$$I_g = \sqrt{I_1^2 + K_2 I_2^2} \quad (1)$$

式中 K_2 为负序电流发热等效系数,取值在 $K_2 = (3 \sim 6)$ 之间。

本文过流保护分为三段: $I_g/I_e > 8$ 为 I 段,保护特性为速断,针对的是短路故障; I_g/I_e 在 $4 \sim 8$ 之间为 II 段,针对的是机械堵转故障; I_g/I_e 在 $1.15 \sim 4$ 之间为 III 段,针对的是热过载故障, I、II 段为过流反时限特性。反时限特性方程如式 2

$$t_g = K \frac{T}{(I_g/I_s)^2 - 1} \quad (2)$$

I_s : 为保护整定动作电流; KT 为可调参数, 用于拟合电机的实际保护特性。若设电机起动电流倍数为 6, 起动时间要求 8s, 由 2 式拟合的 $KT = 305$, 其反时限保护特性如图 1。

1.2 负序保护

负序保护所针对的各类非接地性不对称故障, 如断相、不平衡运行、局部匝间短路等。应用对称分量法, 可以分析各种故障下的负序电流^[2]。以断相故障为例, 电机发生一相断相时的故障电流负序分量为:

$$I_2 = \frac{\sqrt{M_m + \sqrt{M_m^2 - 1}}}{\sqrt{\frac{M_m}{m} \left(\frac{M_m}{m} + \sqrt{\left(\frac{M_m}{m}\right)^2 - 4} \right)}} \quad (3)$$

式中, M_m 为电动机的最大力矩倍数; m 为故障前电动机负荷率。当 $M_m = 2$ 时, 不同负荷率 m 对应的电流分析结果如表 1 (I_Φ 为健全相电流)。

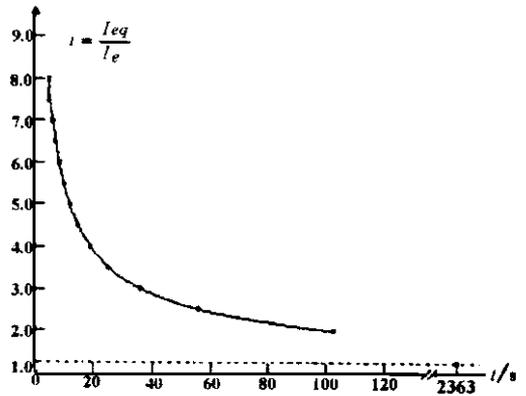


图 1 典型的过流反时限特性

表 1 不同负荷下的断相电流分析

m	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
I_Φ	2.37	1.78	1.50	1.26	1.06	0.87	0.68	0.50
$I_1 = I_2$	1.37	1.03	0.87	0.73	0.61	0.5	0.39	0.29

由表 1 可见, 只有负荷率大于 0.7 时, 断相故障才会引起健全相过电流, 这正是常规过流保护经常不能有效保护不对称故障的原因。

由于负序保护能反映象局部匝间短路之类的轻微故障, 对于电动机故障的早期诊断具有很大优势。然而由于实际供电电源总存在一定的不对称, 即使在正常运行时, 电动机也会有一定的负序电流存在, 负序保护整定时必须躲过这一不平衡电流。

由供电电压不对称引起的负序电流标么值(以正序电流为基准)为:

$$I_2^* = \alpha K_Q \quad (4)$$

其中, $\alpha = \frac{U_2}{U_e}$ 为电压不对称系数, K_Q 为起动电流倍数。

由供电电压不对称引起的负序电流与电动机负荷大小无关。若取 $K_Q = 6$, 有表 2。

表 2 电源电压不对称引起的负序电流

α	5%	8%	10%	17%
I_2^*	0.3	0.48	0.60	1.02

可见当电压不对称程度大于 17% 时, 负序电流将超过正序电流。一般要求供电电压不对称程度小于 5%, 电动机负序保护应能躲过此负序电流, 即按 30% 整定。

1.3 零序保护

零序保护针对的是各类接地故障。由于我国大型电动机都采取小电流接地方式, 发生一点接地时, 故障点的电流很小。因此为提高零序保护的灵敏度, 本文保护采用一次零序电流互感器检测零序电流。零序互感器采用特制的对接型式, 能够很方便地安装和拆卸, 现场使用非常简单、灵活。

零序保护的定值是按照躲过本线路的电容电流整定的, 即:

$$I_{dz} = (1.2 \sim 1.5) 3 U_{\phi} \omega C \quad (5)$$

当并联的电动机数目越多, 被保护电动机的电容电流越小时, 零序保护的灵敏度越高。

2 异步电动机微机保护核心算法

本文交流采样 i_a 和 i_c 二相电流和零序电流 i_0 计算为有效值后直接与保护定值比较, 而由 i_a 、 i_c 计算出正、负序电流, 进而计算出各有效值进行过流保护和负序保护的判别。另外, i_a 和 i_c 也需计算为有效值, 提供正常运行时的显示、监测。

2.1 电流有效值算法

关于计算正弦电流有效值的算法有多种, 如两点乘积算法、傅氏算法、导数法、半周积分法及解微分方程法等, 本文重点研究了两点乘积算法和傅氏算法。

2.1.1 两点乘积算法

设 i_1 和 i_2 分别为任意两个相隔为 $\frac{\pi}{2}$ 的采样时刻 $n_1 T_s$ 和 $n_2 T_s$ 的采样值, 即:

$$\begin{cases} i_1 = i(n_1 T_s) = \sqrt{2} I \sin(\omega n_1 T_s + \varphi_0) = \sqrt{2} I \sin(\alpha) \\ i_2 = i(n_2 T_s) = \sqrt{2} I \sin(\omega n_2 T_s + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I \cos(\alpha) \end{cases} \quad (6)$$

因此, 电流有效值 I 为

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{i_1^2 + i_2^2} \quad (7)$$

这表明只要得到任意两个相隔 $\pi/2$ 的正弦量的瞬时值, 就可计算出该正弦量的有效值, 所需的数据窗口长度为 $\frac{1}{4}$ 周期。

2.1.2 傅氏算法

电动机发生故障时, 电流中不仅含有周期分量, 还含有衰减的非周期分量。傅氏算法本身具有滤波作用, 能完全将各整次谐波分量和纯直流分量滤除。对非整次高频分量和按指数衰减的非周期分量包含的低频分量也有一定的抑制能力。

设被采样的电流信号是一个周期性时间函数, 可表示为:

$$i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)] \quad (8)$$

其中, a_n 和 b_n 分别为各次谐波的正弦项和余弦项的振幅, a_1 和 b_1 可由下式求得:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin(\omega t) dt \\ b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos(\omega t) dt \end{cases} \quad (9)$$

因此, $i(t)$ 的基波分量为:

$$i_1(t) = a_1 \sin(\omega t) + b_1 \cos(\omega t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \varphi) \quad (10)$$

而其中:

$$\begin{cases} a_1 = \sqrt{2} I \cos \varphi \\ b_1 = \sqrt{2} I \sin \varphi \end{cases} \quad (11)$$

则电流有效值为:

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad (12)$$

式 9 的 a_1 和 b_1 可以用梯形法求得:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{1}{N} [2 \sum_{k=1}^{N-1} i_k \sin(k \frac{2\pi}{N})] \\ b_1 = \frac{1}{N} [i_0 + \sum_{k=1}^{N-1} i_k \cos(k \frac{2\pi}{N}) + i_N] \end{cases} \quad (13)$$

式中, N 为一周期采样点数, i_k , i_0 , i_N 分别为第 k 次, 第 0 次和第 N 次的采样值。

应用傅氏算法求取电流有效值至少要求一个周期的采样点, 即 20ms, 计算速度较两点乘积法慢。但由于傅氏算法具有较强的谐波抑制能力, 在故障情况下可以获得较高的计算精度。

表 3 为以上二种算法在正常和断相故障二种情况下的电流有效值计算结果比较, 实际电流值为电流表实测值。

表 3 电流有效值计算算法比较

实测值 \ 算法	正常 (mA)			断相 (mA)		
	$I = 5.9$	$I = 10.3$	$I = 17.0$	断 A, 4.8	断 B, 5.0	断 C, 4.6
两点乘积	6.0	10.1	17.1	5.1	5.4	5.1
傅氏算法	5.9	10.1	17.1	4.6	4.8	4.8

正常运行时, 电流采样值是较好的正弦量, 二种算法精度相近, 而在故障情况下, 傅氏算法精度较好。

本文在电机正常运行时采用两点乘积算法提供监测用的负荷电流用的有效值, 在出现故障后, 利用傅氏算法计算负荷电流及各序电流的有效值, 用于计算保护动作时间及判别故障类型。

2.2 正、负序电流的计算

由对称分量法:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \frac{1}{3} (\dot{I}_a + a \dot{I}_b + a^2 \dot{I}_c) = \frac{1}{3} [\dot{I}_a (1 - a) + \dot{I}_c (a^2 - a)] \\ \dot{I}_2 = \frac{1}{3} (\dot{I}_a + a^2 \dot{I}_b + a \dot{I}_c) = \frac{1}{3} [\dot{I}_a (1 - a^2) + \dot{I}_c (a - a^2)] \end{cases} \quad (14)$$

本文每周期采样 12 点, 采样间隔为 30° , 可得以下计算公式:

$$\begin{cases} i_1(k) = \frac{1}{3} [i_a(k) - i_a(k-8) + i_c(k-4) - i_c(k-8)] \\ i_2(k) = \frac{1}{3} [i_a(k) - i_a(k-4) + i_c(k-8) - i_c(k-4)] \end{cases} \quad (15)$$

3 异步电动机微机保护硬件结构

保护装置采用 8031 单片机, 频率为 11.059MHz。保护装置直接接入电动机二次电流回路, 取 i_a 和 i_c 二相电流及零序电流互感器输出 i_0 。保护装置的基本结构如图 2。

保护装置的输入通道利用精密电流互感器将电动机二次电流进一步降低成适合微机输入的量值。经过低通滤波器 ALF 将电流信号变化成电压信号, 并滤除干扰和高次谐波后输入到模数转换器。

电动机的正常电流和故障电流相差可达十几倍,为提高模数转换精度,采用二片模数转换器分级完成模数转换。

模数转换结果送入单片机最小系统。单片机最小系统由 8031 单片机及外接 8kEPROM 和 8kRAM 组成。保护定值通过面板整定开关及按钮输入,保护动作情况及故障信息通过面板 8 段数码管和指示灯输出。保护装置采用统一的开关电源,交直流输入 110 ~ 220V,使用方便,安全可靠。

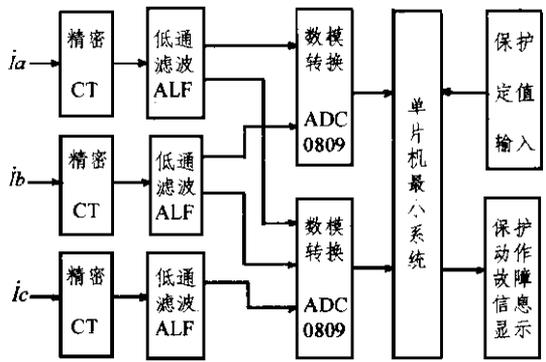


图 2 微机保护硬件框图

本文基于以上原理研制了异步电动机微机综合保护装置。实现的保护功能包括:短路、堵转、过载、不平衡、断相、逆相、相间故障和接地故障等。保护装置所具有故障类型的诊断功能为电动机维护和检修带来了很大便利,实现了电动机保护的智能化。该保护在佳木斯第二发电厂安装十台,自 1994 年底运行了一年半,保护动作正确率百分之百,运行安全、可靠。

4 结论

本文研制了包括过流、负序、零序保护于一体的微型异步电动机综合保护。该保护基本覆盖了电动机所有常见故障类型,具有理想的保护性能和智能化的故障诊断功能。现场运行表明,该保护功能强、性能价格比高,运行稳定、可靠,具有良好的推广应用前景。

参考文献

- 1 蔡泽祥等. 高压异步电动机智能化综合保护. 继电器, 1996. 1
- 2 蔡泽祥等. 异步电动机故障电流分析及保护. 继电器, 1994. 3
- 3 (苏)N·A 赛罗末亚特尼科夫. 感应电动机运行方式. 机械工业出版社, 1985

(接 67 页)

表 2 设备表

代号	名称	型号规格	数量	备注
G	刀开关	HD13- 200/3	1	
6- 9ZK	组合开关	HZ10- 60/2	4	
1- 5ZK	— —	HZ10- 25/2	5	
AN	定向按钮	LA 26- 11BN /1	1	
YA	试验按钮	— —/3	1	
HD、LD	红绿信号灯	XD21A	2	
SD	双色— —	SXD21	1	红绿色
1C	交流接触器	CJ12 - 100/4	1	~ 2200V
2C	— —	CJ12- 250Z/4	1	- 220V
1YJ、YJ	电磁继电器	JT4- 01P	2	
2. 3YJ	— —	JT4—11P	2	
1- 14RD	熔断器	RT22A - 16/15	14	
15- 22RD	— —	RT22A - 63/60	8	
P	屏名称志牌	8XJ86Q 027. 1	1	根据需要选用
C	各种直触器	CZD- 20/20 DC220V 40A		

注: 1. 屏面上元件右下角为元件开孔号

2. 本屏结构按 JPM - B II /800 考需如有其它要求, 订货时提出。