

负序保护在低压隔爆电动机 综合保护中应用

冯 凯¹, 陈迎松¹, 胡 涛²

(1. 漯河职业技术学院 机电系, 河南 漯河 462002;

2. 郑州卷烟总厂 漯河分厂, 河南 漯河 462002)

摘要: 通过分析低压隔爆电动机的主要故障类型, 针对不对称性短路故障和断相故障提出了采用负序保护原理进行保护的方案。从电源电压严重不平衡故障、断相故障和两相短路故障三方面介绍了负序保护方案设计; 采用滤序算法对采样得到的瞬时值进行处理得到序分量; 并通过试验方法模拟了发生不对称性短路故障及断相故障时产生的负序电流, 试验所得到的实测值和要求值基本吻合, 从而验证了保护方案的正确性。将负序保护应用于低压隔爆电动机综合保护中, 不仅可以降低保护装置的成本, 还能提高保护装置的可靠性。

关键词: 电动机综合保护; 负序保护; 滤序算法

中图分类号: TD 611+.5; TM 77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2007)02-0101-03

0 引言

低压隔爆电动机广泛用于煤炭行业或石油、化工等企业中的爆炸危险场合。如煤矿井下的装岩机、运输机、调度绞车、局部扇风机与石油化工企业的管道泵、小球阀电动装置等均使用隔爆型三相异步电动机。在煤矿井下低压隔爆电动机常见的主要故障类型有: 短路、断相、过电压及电源欠压以及过负荷等。其中, 短路故障又包括对称性故障和不对称故障。当发生不对称故障时, 根据对称分量法, 除正序分量外, 总有负序分量同时出现^[1]; 断相故障则会造成电动机缺相运行, 也会产生零序和负序分量。因此, 所设计的低压隔爆电动机综合保护中针对于不对称性短路故障和断相故障采用负序保护原理。负序保护原理就是把反映负序分量的电流或电压作为保护依据, 从而达到对不对称短路和断相故障进行保护的目的。

1 负序保护方案设计^[2-11]

将负序电流有效值的大小作为反映不对称故障程度的表征量, 按照负序电流从小到大把不平衡故障分为 3 类: 电源电压严重不平衡故障、断相故障和两相短路故障, 微机通过对负序电流值的判断作出相应的故障处理。

1.1 正常和不平衡故障分界值的确定

在正常运行时, 负序电流很小或基本为零。一旦出现较大幅值的负序电流, 一定是发生了不对称故障。在实际运行中, 供电电源总存在着某种程度的

不对称。由供电电压不对称引起的负序电流取决于电动机的负序阻抗与正序阻抗的比值, 此比值大致是额定电流与启动电流之比^[4]。按国家有关规程, 供电电压不对称度要求小于 5%, 电动机的启动电流一般为 $(5 \sim 7)I_N$, 取启动电流为 $6I_N$, 则不平衡故障时负序电流的整定值可确定为

$$I_2 = 30\% I_N = 0.3 I_N$$

其中, I_2 为负序电流, I_N 为额定电流; 由此式计算出的负序电流值可作为正常和不平衡故障的分界值。

1.2 断相和不对称短路故障分界值的确定

究竟取多大的负序电流值作为判断断相、不对称短路的依据, 还需要进一步分析不对称故障发生时供电线路电流、负序电流的变化情况。假设三相线路中的 A 相发生断线, 电动机为星型联接。此时 A、B、C 三相电流为

$$I_A = 0, \quad I_B = -I_C$$

由对称分量法可得正、负序分量为

$$I_1 = (I_A + \alpha I_B + \alpha^2 I_C) / 3$$

$$I_2 = (I_A + \alpha^2 I_B + \alpha I_C) / 3$$

由以上 4 式可得:

$$I_1 = (\alpha - \alpha^2) I_B / 3, \quad I_2 = (\alpha^2 - \alpha) I_B / 3$$

由上述推导可知, 断相时将会出现正序分量和负序分量, 且正序与负序分量幅值相等, 方向相反。对 $I_2 = (\alpha^2 - \alpha) I_B / 3$ 两边取模可得:

$$I_2 = \sqrt{3} I_B / 3 = \sqrt{3} I_0 / 3$$

为了给出负序电流量值的概念, 还需要分析供电线路中各相电流的大小, 断相运行时的输出功率为

$$P_0 = U_X I_0 \lambda_0 \eta_0$$

三相正常运行时的输出功率为

$$P_N = \sqrt{3} U_X I_N \lambda_N \eta_N$$

式中 $\lambda_0, \lambda_N, \eta_0, \eta_N, I_0, I_N, U_X$ 分别为断相和正常运行时的功率因数、效率、线路中的电流及电网线电压。若负荷率为1,则断相运行时供电线路中的电流为

$$I_0 = \frac{\sqrt{3} \lambda_N}{\lambda_0} \times \frac{\eta_N}{\eta_0} \times I_N$$

由于负序电流的作用,电动机运行的功率因数和效率均会明显下降,假设断相运行时, $\lambda_0 = 0.9 \lambda_N, \eta_0 = 0.87 \eta_N$,则此时线路中的电流 $I_0 = 2.2 I_N$ 。

则负序电流的大小为

$$I_2 = \sqrt{3} I_B / 3 = \sqrt{3} I_0 / 3 = 1.27 I_N$$

若取负荷率为0.5,可以求出此时 $I_2 = 0.683 I_N$ 。

为了增加保护范围,取负荷率为0.5时的负序电流值作为整定值,把这个值作为判断断相故障的依据。即供电线路中任一相电流为零,且检测到的负序电流超过额定电流的68.3%时,则认为是断相故障,6s跳闸。

当发生两相不对称短路时,供电线路中的负序电流比断相时大,为了保证灵敏度,本设计中取 $I_2 = 2 I_N$ 作为两相不对称短路故障的判断依据。

综上所述,根据负序电流判断不平衡故障的情况如表1所示。

表1 不平衡故障判断表

Tab.1 Criteria for unbalance faults

负序电流	故障	保护方式
$0.3 I_N < I_2 \leq 0.683 I_N$	不平衡	反时限跳闸
$0.683 I_N < I_2 \leq 2 I_N$	断相	6s跳闸
$I_2 > 2 I_N$	两相不对称短路	50ms跳闸

2 利用滤序算法提取负序电流

传统的保护方式大多采用硬件方式通过对向量做移相处理滤出序分量,然后再进行判断和保护,由于采用整流元件和其他分立元件,使得滤序的速度和精度易受外部条件的影响,可靠性不高。本设计中采用滤序算法对采样得到的瞬时值进行处理得到序分量^[5],可以改善传统保护中的不足,下面进行分析。

对称分量的正、负序的复数表达式为

$$F_1 = (F_A + \alpha F_B + \alpha^2 F_C) / 3$$

$$F_2 = (F_A + \alpha^2 F_B + \alpha F_C) / 3$$

考虑到参与变换的量都具有 $F e^{j\theta}$ 的形式,这个相量超前相量 F 的角度为 θ ,对于正弦波则相当于隔 $\Delta t = \theta / \omega$ 取瞬时值(ω 为工频角频率),且超前 $T/3$ 等于滞后 $2T/3$,因此上式可表示为

$$3 F_1 = F_A + F_B e^{jT/3} + F_C e^{j2T/3}$$

$$3 F_2 = F_A + F_B e^{j2T/3} + F_C e^{jT/3}$$

式中 T 为工频周期。

为了加快计算速度,则要设法减少 e 的指数,从而减少计算所需的采样周期数,将关系式 $e^{\pm j\theta} = 2 \times \cos(\theta/2) e^{\pm j\frac{\theta}{2}} - 1$ 代入上式中,由此可得到正、负序

分量的复数形式为

$$3 F_1 = F_A + \sqrt{3} F_B e^{j30^\circ} - 2 F_B - \sqrt{3} F_C e^{j30^\circ} + F_C$$

$$3 F_2 = F_A - \sqrt{3} F_B e^{j30^\circ} + F_B + \sqrt{3} F_C e^{j30^\circ} - 2 F_C$$

写成瞬时值形式为

$$3 f_1(t) = f_A(t) + \sqrt{3} f_B \left(t + \frac{T}{12} \right) -$$

$$2 f_B(t) - \sqrt{3} f_C \left(t + \frac{T}{12} \right) + f_C(t)$$

$$3 f_2(t) = f_A(t) - \sqrt{3} f_B \left(t + \frac{T}{12} \right) +$$

$$f_B(t) + \sqrt{3} f_C \left(t + \frac{T}{12} \right) - 2 f_C(t)$$

上式表明,提取正、负序分量的时间等于 $T/12 = 20/12 = 1.667(\text{ms})$ 。当选取采样周期为 $T/12$,或 $f_s = 600 \text{ Hz}$,则用2个相邻采样值即可求得正、负序分量。本设计中利用 t 时刻与 $(t - T/6)$ 时刻的2个采样值求正、负序分量。此时

$$3 f_1(t) = f_A(t) - f_B \left(t - \frac{T}{6} \right) + f_C \left(t - \frac{T}{6} \right) - f_C(t)$$

$$3 f_2(t) = f_A(t) - f_C \left(t - \frac{T}{6} \right) + f_B \left(t - \frac{T}{6} \right) - f_B(t)$$

写成差分方程为

$$3 f_1(n) = f_A(n) - f_B(n-2) + f_C(n-2) - f_C(n)$$

$$3 f_2(n) = f_A(n) - f_C(n-2) + f_B(n-2) - f_B(n)$$

由上式可以看出,该算法求正、负序分量时要用到2个采样周期,但只有加减法,计算简单、误差较小,需要 $2 \times 1.667 \text{ ms} = 3.33 \text{ ms}$ 即可算出正负、序分量,满足设计要求。

3 负序保护试验

为了验证负序保护在低压隔爆电动机综合保护中的应用,特设计实验装置对此进行验证,该实验装置能够模拟发生不对称性故障及断相故障时产生的负序电流。由于大电流的移相十分困难,故在试验时按正序升流设计,正序电流经电流、电压变换器后转换为正序电压信号,为了得到负序电流,在进入保护装置时将A、C两相信号倒相,此时虽然是正序升流,但保护装置滤序程序滤出的是负序电压,因而可达到模拟负序电流升流的效果。正序升流电路原理如图1所示。测试动作特性如表2所示。

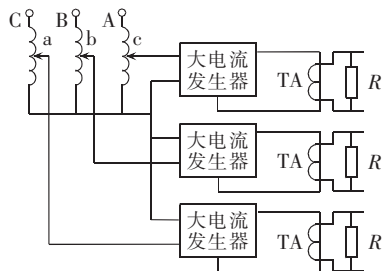


图1 正序升流电路原理图

Fig.1 Principle of positive sequence current augment circuit

表 2 负序保护动作特性
Tab.2 Action characteristic of
negative sequence protection

负序电流	负序保护动作时间	
	要求值	实测值
$0.4I_N$	10 s	9.5 s
$1.3I_N$	6 s	5 s
$2.7I_N$	50 ms	45 ms

4 结语

将负序保护应用于低压隔爆电动机综合保护中,只考虑故障出现时的相序分量,因而故障整定值可选得很小,灵敏度较高。而采用滤序算法提取负序电流,改善了传统的采用硬件电路提取负序电流的方法,不仅降低了保护装置的成本,更提高了保护装置的可靠性,具有很好的应用价值。

参考文献:

[1] 王崇林,邹有明. 供电技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1997.
[2] 姚建刚,刘觉民,刘光晔. 中小型异步电动机微机智能型保护的研究[J]. 电力自动化设备,1999,19(2):37-39.
YAO Jian-gang,LIU Jue-min,LIU Guang-ye. Research on unified intelligent protection with microcomputer for medium and small-sized asynchronous motors[J]. Electric Power Automation Equipment,1999,19(2):37-39.
[3] 孙嘉宁. 大中型异步电动机综合保护理论及实现[J]. 继电器,2000,28(12):20-23.
SUN Jia-ning. Theory and practices of multiple protection for large and middle capacity asynchronous motors[J]. Relay,2000,28(12):20-23.
[4] 张连斌,蔡泽祥,谭敦生. 微型机异步电动机综合保护装置的研制[J]. 继电器,1996,24(4):42-46.
ZHANG Lian-bin,CAI Ze-xiang,TAN Dun-sheng. Microprocessor based protection relay for asynchronous motors[J]. Relay,1996,24(4):42-46.
[5] 焦邵华,刘万顺,肖仕武,等. 高精度快速负序算法的研究[J]. 电力系统自动化,2000,24(21):45-48.

JIAO Shao-hua,LIU Wan-shun,XIAO Shi-wu,et al. Study on the fast negative sequence algorithm with high precision[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(21):45-48.
[6] 冷旭东. 电动机保护中负序算法研究[J]. 电气开关,2002(4):11-12.
LENG Xu-dong. Study of negative current calculation on motor protection[J]. Electric Switch,2002(4):11-12.
[7] 王禹民,蔡泽祥. 高压异步电动机的故障诊断及综合保护[J]. 电网技术,1996,20(3):7-9.
WANG Yu-min,CAI Ze-xiang. Fault diagnoses and unified protection for HV asynchronous motors[J]. Power System Technology,1996,20(3):7-9.
[8] 国家安全生产监督管理局,国家煤矿安全监督局. 煤矿安全规程[M]. 北京:中国法制出版社,2005.
[9] 李宁. 异步电动机的综合保护[J]. 天津轻工业学院学报,2002(3):30-33.
LI Ning. Multiple protection for asynchronous motor[J]. Journal of Tianjin University of Light Industry,2002(3):30-33.
[10] 白凤山,丁丰. 单片机在高压电机综合保护中的应用[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2003,34(5):552-555.
BAI Feng-shan,DING Feng. Application of single-chip computer in high voltage electromotor comprehensive protector[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol,2003,34(5):552-555.
[11] 高婧,郑建勇. 电力系统微机保护中改进傅氏算法综合性能研究[J]. 继电器,2002,30(10):16-20.
GAO Jing,ZHENG Jian-yong. Study of improved Fourier algorithm for digital protection in power system[J]. Relay,2002,30(10):16-20.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

冯 凯(1976-),女,河南西平人,讲师,硕士,主要从事计算机控制系统及控制理论的教学与研究工作(E-mail:fkht20021001@163.com);
陈迎松(1976-),男,河南漯河人,讲师,硕士,主要从事计算机与电气自动化技术的教学与研究工作;
胡 涛(1975-),男,河南郑州人,助理工程师,主要从事电力系统继电保护的现场工作。

Negative sequence protection in comprehensive protection
of LV flameproof motor

FENG Kai¹,CHEN Ying-song¹,HU Tao²

(1. Luohe Vocational and Technical College, Luohe 462002, China;

2. Luohe Brance of Zhengzhou Cigarette General Factory, Luohe 462002, China)

Abstract: Based on the analysis of main fault types of LV (Low Voltage) flameproof motor, the negative sequence protection principle is proposed for its asymmetric short circuit fault and open phase fault. The design of negative sequence protection is mainly introduced with seriously unbalanced power supply voltage fault, open phase fault and two-phase short circuit fault. The strain sequence arithmetic is used to deduce sequence components from instantaneous samples. Negative sequence currents generated in asymmetric short circuit fault and open phase fault are simulated by experiments and the measured experimental results coincide with the requested values, which proves the correctness of protection scheme. The application of negative sequence protection in LV flameproof motor comprehensive protection reduces equipment cost and improves its reliability.

Key words: motor comprehensive protection; negative sequence protection; strain sequence arithmetic