

零序电流差动应用在母线保护的可行性分析

宋小舟¹, 王东¹, 沈辉², 郑珂³

(1. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000; 2. 商丘电业局, 河南 商丘 476000;

3. 驻马店电业局, 河南 驻马店 463000)

摘要: 作为完全故障分量的差动保护, 零序电流差动保护在区内故障时有较高的灵敏度, 其在母线保护上的采用可以为解决现有母线保护存在的问题提出一个新的思路。

关键词: 零序电流差动保护; CT饱和

中图分类号: TM773

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)04-0012-03

1 引言

随着我国国民经济的不断发展, 电力系统的供电容量越来越大, 母线故障后的影响也越来越大。母线的故障若不及时切除, 不但会使电气设备遭到严重破坏, 甚至破坏整个电力系统的稳定。因此电力系统对母线保护的可靠性要求也越来越高, 对220kV以上的重要变电站要求配置两套不同原理的母线保护, 如何满足电力系统的需求成为母线保护研究者的新课题。

2 零序电流差动保护概念的引入

母线保护广泛采用的是分相电流差动保护, 它以母线的每一相作为一个节点, 根据基尔霍夫定律的基本原理, 利用差动电流来区分母线的区内外故障。公式表达如下:

$$I_{da} = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an} \quad (1)$$

$$I_{db} = I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn} \quad (2)$$

$$I_{dc} = I_{c1} + I_{c2} + \dots + I_{cn} \quad (3)$$

I_{da} 、 I_{db} 、 I_{dc} 分别为母线 A、B、C 三相的差动电流。

如果把母线三相作为一个节点, 基尔霍夫定律同样成立, 令:

$$I_d = (I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an}) + (I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn}) + (I_{c1} + I_{c2} + \dots + I_{cn})$$

其中 I_d 为母线差动电流, 由公式 (1)、(2)、(3) 可得:

$$I_d = I_{da} + I_{db} + I_{dc}$$

取 $I_{da} + I_{db} + I_{dc}$ 为零序差动电流 I_{d0} , 则

$$I_d = I_{d0}$$

如果取母线任意元件零序电流:

$$I_{n0} = I_{an} + I_{bn} + I_{cn}$$

整理得:

$$I_{d0} = (I_{a1} + I_{b1} + I_{c1}) + (I_{a2} + I_{b2} + I_{c2}) + \dots + (I_{an} + I_{bn} + I_{cn}) \quad (4)$$

$$I_{d0} = I_{10} + I_{20} + \dots + I_{n0} \quad (5)$$

根据基尔霍夫定律, 当母线正常运行和外部故障时, 流入母线的电流和为零, 零序差动电流 I_{d0} 为零。而当母线发生接地短路时, 此时的零序差动电流 I_{d0} 等于接地点的故障电流。因此利用零序差动电流可区分母线区内外故障。

3 零序电流差动保护的灵敏性分析

分析零序电流差动保护, 采用具有比率制动特性的瞬时值算法, 其动作方程为:

$$I_d > I_{dd}; \quad I_d > KI_f$$

$$I_d = \sum_{i=1}^n I_i; \quad I_f = \sum_{i=1}^n I_i$$

式中 I_d 为某一时刻差动电流瞬时值, I_f 为同一时刻制动电流瞬时值, K 为比例制动系数, I_{dd} 为差动电流整定门坎。

3.1 单相接地短路的分析

以 A 相故障为例, A 相的故障后电流 I_{a1} 可分解为两个电流: 负荷电流 I_{afh1} 和故障分量的电流 I_{a1} , 由公式 4 可知:

$$I_{d0} = (I_{afh1} + I_{a1} + I_{b1} + I_{c1}) + (I_{afh2} + I_{a2} + I_{b2} + I_{c2}) + \dots + (I_{afh_n} + I_{a_n} + I_{b_n} + I_{c_n})$$

整理得:

$$I_{d0} = (I_{afh1} + I_{b1} + I_{c1}) + (I_{afh2} + I_{b2} + I_{c2}) + \dots + (I_{afh_n} + I_{b_n} + I_{c_n}) + (I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{a_n}) \quad (6)$$

由于故障为单相接地, I_b 和 I_c 不变, 为故障前的负荷电流, 正常负荷情况下母线任意一相的电流和为 0, 所以

$(I_{afh1} + I_{b1} + I_{c1}) + (I_{afh2} + I_{b2} + I_{c2}) + \dots + (I_{afhn} + I_{bn} + I_{cn}) = 0$, 公式(6)简化为:

$$I_{d0} = (I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an}) \quad (7)$$

而此时 A 相分相差动的差动电流为:

$$I_{da} = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an} = (I_{afh1} + I_{a1}) + (I_{afh2} + I_{a2}) + \dots + (I_{afhn} + I_{an}) = (I_{afh1} + I_{afh2} + \dots + I_{afhn}) + (I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an})$$

由于 $(I_{afh1} + I_{afh2} + \dots + I_{afhn}) = 0$, 整理得:

$$I_{da} = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an} \quad (8)$$

比较公式(7)和(8)可知,在单相故障接地的情况下分相电流差动和零序电流差动差动电流值相等。

取零序电流的制动量:

$$I_{f0} = I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} + I_{a2} + I_{b2} + I_{c2} + \dots + I_{an} + I_{bn} + I_{cn} = I_{afh1} + I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} + I_{afh2} + I_{a2} + I_{b2} + I_{c2} + \dots + I_{afhn} + I_{an} + I_{bn} + I_{cn}$$

$$I_{afh1} + I_{b1} + I_{c1} = I_{afh2} + I_{b2} + I_{c2} = \dots = I_{afhn} + I_{bn} + I_{cn} = 0$$

$$I_{f0} = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an} \quad (9)$$

此时 A 相分相差动的制动量

$$I_{fa} = I_{afh1} + I_{a1} + I_{afh2} + I_{a2} + \dots + I_{afhn} + I_{an} \quad (10)$$

比较式(9)(10)可知,零序电流差动和分相电流差动的制动量是有区别的,零序差动制动量完全是故障分量,不受负荷电流的影响,而分相电流差动的制动量和负荷电流有关。因此零序电流差动保护在区内故障时灵敏度相对于分相差动要高。

3.2 两相接地短路的分析

以 B、C 相故障为例, B、C 相的故障后电流可分解为两个电流:负荷电流 I_{bfh1} 、 I_{cfh1} 和故障分量的电流 I_b 、 I_c 有公式(4)可知:

$$I_{d0} = (I_{a1} + I_{b1} + I_{bfh1} + I_{c1} + I_{cfh1}) + (I_{a2} + I_{b2} + I_{bfh2} + I_{c2} + I_{cfh2}) + \dots + (I_{an} + I_{bn} + I_{bfhn} + I_{cn} + I_{cfhn})$$

整理得:

$$I_{d0} = (I_{a1} + I_{bfh1} + I_{cfh1}) + (I_{a2} + I_{bfh2} + I_{cfh2}) + \dots + (I_{an} + I_{bfhn} + I_{cfhn}) + (I_{c1} + I_{b1}) + (I_{c2} + I_{b2}) + \dots + (I_{cn} + I_{bn})$$

$$又 (I_{a1} + I_{bfh1} + I_{cfh1}) + (I_{a2} + I_{bfh2} + I_{cfh2}) + \dots + (I_{an} + I_{bfhn} + I_{cfhn}) = 0,$$

则:

$$I_{d0} = (I_{c1} + I_{b1}) + (I_{c2} + I_{b2}) + \dots + (I_{cn} + I_{bn}) \quad (11)$$

而此时分相差动 B 相的差动电流为:

$$I_{db} = I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn} = (I_{bfh1} + I_{b1}) + (I_{bfh2} + I_{b2}) + \dots + (I_{bfhn} + I_{bn}) = (I_{bfh1} + I_{bfh2} + \dots + I_{bfhn}) + (I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn})$$

由于 $(I_{bfh1} + I_{bfh2} + \dots + I_{bfhn}) = 0$ 整理得:

$$I_{db} = I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn} \quad (12)$$

同理分相差动 C 相的差动电流为:

$$I_{dc} = I_{c1} + I_{c2} + \dots + I_{cn} \quad (13)$$

取零序电流的制动量

$$I_{f0} = I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} + I_{a2} + I_{b2} + I_{c2} + \dots + I_{an} + I_{bn} + I_{cn} = I_{a1} + I_{b1} + I_{bfh1} + I_{c1} + I_{cfh1} + I_{a2} + I_{b2} + I_{bfh2} + I_{c2} + I_{cfh2} + \dots + I_{an} + I_{bn} + I_{bfhn} + I_{cn} + I_{cfhn}$$

由于故障为两相接地, I_a 不变,为故障前的负荷电流,所以

$$I_{a1} + I_{bfh1} + I_{cfh1} = I_{a2} + I_{bfh2} + I_{cfh2} = \dots = I_{an} + I_{bfhn} + I_{cfhn} = 0$$

$$I_{f0} = I_{b1} + I_{c1} + I_{b2} + I_{c2} + \dots + I_{bn} + I_{cn} \quad (14)$$

同时分相差动的制动量

$$I_{fb} = I_{bfh1} + I_{b1} + I_{bfh2} + I_{b2} + \dots + I_{bfhn} + I_{bn} \quad (15)$$

$$I_{fc} = I_{cfh1} + I_{c1} + I_{cfh2} + I_{c2} + \dots + I_{cfhn} + I_{cn} \quad (16)$$

比较以上可知,在两相接地短路时,零序电流差动和分相电流差动的制动量和动作量是有区别的,零序差动制动量和动作量受两故障相的故障分量及它们的相位影响,但制动量和动作量受到的影响一致,且仍不受负荷电流的影响。而分相电流差动只受到每相故障分量的影响,和相位没有关系,但制动量却受负荷电流影响。总的来说零序电流差动保护在区内故障时灵敏度相对于分相差动要高。

4 零序电流差动保护的抗 CT 饱和分析

当母线外部发生故障特别是母线近端发生外部故障时,由于直流分量的影响,CT 可能发生饱和,使 CT 的二次电流发生畸变,不能真实反映系统的一次电流,在差动回路中有差电流存在,对母线差动保护

产生不利影响,若不采取必要的闭锁措施,差动保护就会误动,因此,在各种类型的母线差动保护中必须对CT饱和和采取相应的闭锁措施。

根据分析,即使CT严重饱和时,在故障发生的初始阶段和线路电流过零点附近CT存在一个线性转变区,在线性转变区内差动保护不会误动作。根据这一特性,利用CT饱和时差动保护动作时间滞后于故障发生时刻的特点,首先判断故障的发生时刻,若此时差动保护不动即判为母线外部故障。这一判别方法为同步识别法,以下以同步判别法为例,就零序电流差动保护的抗CT饱和能力进行分析。

4.1 单相接地短路的分析

以A相故障为例,由公式(7)和公式(8)可知:

在单相故障接地的情况下分相电流差动和零序电流动差动电流值相等。

也就是单相接地时CT饱和的情况下,分相差动电流和零序电流差动电流值完全相同,利用分相电流差动和零序电流差动电流判别CT饱和不会有任何差别。

4.2 两相接地短路的分析

以B、C相故障为例

$$I_{d0} = (I_{c1} + I_{b1}) + (I_{c2} + I_{b2}) + \dots + (I_{cn} + I_{bn})$$

而此时B相差动的差动电流为:

$$I_{db} = I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn}$$

C相差动的差动电流为:

$$I_{dc} = I_{c1} + I_{c2} + \dots + I_{cn}$$

比较以上可知,在两相接地短路时,零序电流差动和分相电流差动电流有区别的,零序差动电流受到故障相的相位影响,而分相电流差动只受到每相故障分量的影响,和相位没有关系。

下面以图1所示母线,进行区外故障CT饱和的分析,为方便分析,我们简化母线系统为两个元件 I_1 和 I_2 。

在 K_1 点故障CT未饱和时, $I_{d0} = I_{dc} = I_{db} = 0$,CT饱和时

$$I_{d0} = (I_{c1} + I_{b1}) + (I_{c2} + I_{b2}) + \dots + (I_{cn} + I_{bn}) = I_{dc} + I_{db}$$

图2为CT饱和时故障相电流和零序差动电流的波形图。分析图2可知:此时用同步法判别CT饱和没有问题,问题的关键是CT饱和后。零序差动电流的波形和分相差动电流的波形差别比较大,并且会受到故障时故障相之间的相位影响,因此判出CT

饱和后应闭锁零序差动保护直到系统恢复。

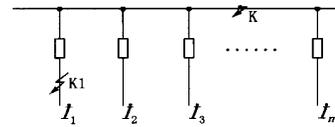


图1 母线系统示意图

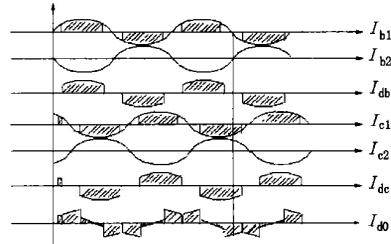


图2 母线外部故障电流波形图

5 零序电流差动保护的应用前景

零序电流差动保护已在线路保护中得到成功应用,母线保护中还没有具体应用,笔者认为这主要是受到硬件水平的限制,母线保护分相差动本来的采样数目就很大(包括交流和开入),如果再增加交流采样数目,传统的保护系统很难满足要求。但随着单片机技术的发展和生产工艺水平的提高(如保护系统普遍采用32位DSPCPU和多层印制板工艺)数据采集已不是问题,现有微机母线保护已具备接入零序电流的条件。

根据某电网1970~1976年的统计,母线系统的故障多为接地性故障,占故障总数的80%以上,而零序保护对接地故障具有较高的灵敏度。特别是电力系统反措要求220kV以上的重要变电站装设两套不同原理的母线保护,笔者认为零序电流差动差动保护可以作为一种母线保护第二原理方案。另外现有的母线保护多采用分相差动方案,任意一相差动CPU损坏,影响母线保护的正常运行,如果增加零序电流差动保护,在分相差动CPU损坏的情况下母线保护仍可正确动作,这弥补了现有母线保护的不足。

参考文献:

- [1] 王春生,等. 母线保护[M]. 中国电力出版社, 1997, 10.
- [2] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安交通大学出版社, 1996, 6.

收稿日期: 2001-09-26

(下转第31页)

表1列出了故障定位试验的结果:

表1 故障定位试验结果

故障类型	故障电阻		定位结果 (km)					
	R_f (Ω)	R_g (Ω)	10km 处		40km 处		90km 处	
			定位结果	误差	定位结果	误差	定位结果	误差
单相接地	0	0	9.97	-0.03	39.94	-0.06	89.98	-0.02
	0	50	9.92	-0.08	39.93	-0.07	89.95	-0.05
	0	100	9.98	-0.02	39.94	-0.06	89.92	-0.08
两相短路	0		9.89	-0.11	39.94	-0.06	90.06	0.06
	2.5		10.02	0.02	39.96	-0.04	90.03	0.03
	5		9.90	-0.10	40.03	0.03	90.04	0.04
两相短路接地	0	0	9.89	-0.11	40.05	0.05	90.06	0.06
	3	50	10.01	0.01	40.02	0.02	90.03	0.03
	9	100	9.90	-0.10	39.96	-0.04	90.02	0.02
三相短路	9	50	9.90	-0.10	39.96	-0.04	90.03	0.03

由表1可知,本精确定位装置具有很高的定位精度。

7 结论

对于故障定位装置的性能测试问题,根据线路的各种故障,包括雷击闪络、断线、碰线、高阻接地、

污闪等复杂故障,通常的动模试验难以模拟高压线路上的故障情况,不能对定位装置进行功能测试。若将装置直接装上电网,由短路事故对它进行考验,短期内难以有明确的运行结果。

本文实现了利用 RTDS 来测试精确故障定位系统的性能,得到了很好的结果。RTDS 可用来做电力系统的闭环试验,与传统的仿真手段如动模试验相比有明显的优势,如它可以灵活改变系统的模型及参数,控制故障时刻等,可以完成许多电力系统试验,是一种很好的测试方法。

参考文献:

- [1] Qingwu Gong, Yunping Chen, chengxue Zhang, zhimei Wang. A Study of the Accurate Fault Location System for Transmission Line Using Multi Terminal Signals. Proceedings of IEEE PES Winter Meeting 2000, singapore.
- [2] Dommel H W,李永庄,等译.电力系统电磁暂态计算理论.水利电力出版社,1991.

收稿日期: 2001-09-13

作者简介: 龙志君(1977-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究; 付丰年(1978-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究; 刘靖(1979-),女,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究。

Testing of accurate fault location system using RTDS

LONG Zhi-jun, FU Feng-nian, LIU Jin, GONG Qing-wu, LIU Tao-wen, CHENG Yun-ping
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A 220 kV power system has been simulated with the help of RTDS. All the kinds of transmission line faults have been set to test the performance of accurate fault location system. And the error are analyzed with high-precision measuring instruments.

Keywords: accurate fault location; measurement of transmission line parameter; GPS; RTDS

(上接第14页)

作者简介: 宋小舟(1969-),男,工程师,主要从事继电保

护研究工作; 王东(1973-),男,助工,从事继电保护研究工作; 沈辉(1969-),男,工程师,主要从事继电保护运行工作。

Feasibility analysis on zero-sequence current differential principle applied in busbar protection

SONG Xiao-zhou¹, WANG Dong¹, SHEN Hui², ZHENG Ke³

- (1. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China; 2. Shangqiu Electric Power Bureau, Shangqiu 476000, China;
3. Zhumadian Electric Power Bureau, Zhumadian 463000, China)

Abstract: Zero-sequence current differential protection, as the protection based on complete fault component, has higher sensitivity during in-zone fault. Using it in busbar protection presents a new way to solve the problem of busbar protection.

Keywords: zero-sequence current differential protection; CT saturation