

# 电气主设备纵差保护的进展

王维俭<sup>1</sup>, 张学深<sup>2</sup>, 田开华<sup>3</sup>, 郭玉恒<sup>3</sup>

(1. 清华大学电机系, 北京 100084; 2. 许昌继电器研究所, 许昌 461000; 3. 二滩水电站, 攀枝花 617000)

**摘要:** 根据比率制动式纵差保护在运行中提出的问题, 主要是电流互感器在外部短路暂态过程中造成的纵差保护不平衡电流增大和饱和效应使制动电流减少, 可能产生误动作, 发电机或变压器绕组短路时一侧可能存在不大的流出电流会影响保护动作的灵敏性, 甚或造成保护拒动, 这种流出电流可能是负荷电流, 也可能是由短路安匝对健全绕组的互感所引起的感应电流。作者吸取国内外先进经验, 结合主设备内部故障的分析建议推广标积制动原理的比率制动或纵差保护新方案。

**关键词:** 电气主设备; 纵差保护; 比率制动; 标积制动

**中图分类号:** TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)05-0006-03

## 1 问题的提出

比率制动或纵差保护被国内外广泛应用于电气主设备, 作为快速主保护, 典型的动作判据是:

$$\text{差动电流 } I_d = I_1 + I_2 \quad (1)$$

$$\text{制动电流 } I_{res} = 0.5 (I_1 + I_2) \quad (2)$$

$$\text{动作判据 } I_d > I_{op.0} \text{ 当 } I_{res} < I_{res.0} \quad (3)$$

$$I_d > I_{op.0} + K_{res} (I_{res} - I_{res.0}) \text{ 当 } I_{res} > I_{res.0} \quad (4)$$

式中,  $I_1, I_2$  —— 两侧电流相量 (以流入端子为正向);

$I_{op.0}$  —— 最小动作电流;

$I_{res.0}$  —— 最小制动电流;

$K_{res}$  —— 比率制动式纵差保护的制动系数。

### (1) 电流互感器饱和问题

主设备的纵差保护所用互感器一般为保护 (P) 级, 互感器的正确选型设计只能保证在稳态额定准确限值一次电流下保持复合误差不超过 10% (10P 级) 或 5% (5P 级)。在外部短路的暂态过程中, 伴随工频交流的非周期分量电流将使差动保护各侧不同类型的互感器, 由于严重的非线性饱和特性不一致, 纵然一次电流诸侧之和  $I_1 = 0$ , 二次电流诸侧之和

$I_2 \neq 0$ , 造成纵差保护不平衡差动电流  $I_d$  增大, 与此同时反映  $I_1$  的制动电流却因互感器严重饱和而减小, 构成纵差保护误动作的基本条件。一些纵差保护所用的各侧互感器虽属同型, 但均为保护 (P) 级, 不能对这些互感器要求在外扰动过程的暂态工况下具有相同的传变特性, 屡见不鲜的大型电动机自启动过程中纵差保护误动就是证明。

### (2) 内部短路时流出电流问题

图 1 表示发电机或变压器中性点附近少量匝数

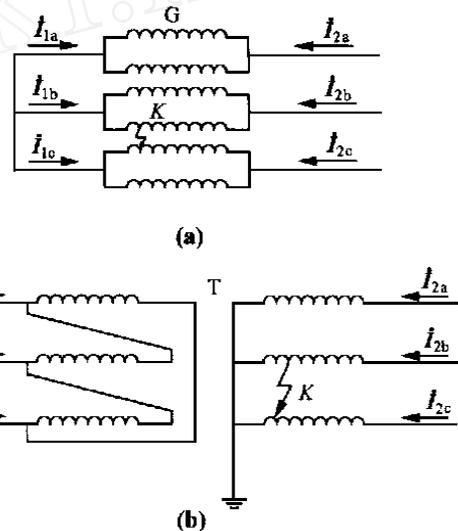


图 1

发生相间短路, 三相绕组其余的大部分是健全的, 其中  $I_2$  可能具有明显的负荷电流性质, 即  $I_2$  相对于  $I_1$  言可能是流出电流; 另外短路环的磁动势 ( $IW$ ) 将在相邻绕组中依靠互感产生感应电流  $i_{2a}, i_{2b}, i_{2c}$ , 这些感应电流与原边电流  $I_{1a}, I_{1b}, I_{1c}$  之间的相位关系, 可能呈现外部短路的电流相位特征, 这就使比率制动特性纵差保护的差动电流  $I_d$  减小, 降低内部短路时保护动作的灵敏度。

## 2 发电机内部相间短路时各相两侧电流的相位关系

作者曾对三峡电站 2 号发电机作 a 相 1 分支 31 号槽上层线棒与 c 相 5 分支 34 号槽下层线棒间由于端部联线绝缘损坏, 发生 ac 相间 4 匝短路 (短路匝很少) 的分析计算, 结果是:

$$I_{1a} = 31895.14 - 112.77 \text{ A}, \quad I_{1b} = 4610.56$$

- 133.29 A,  $\dot{I}_{1c} = 36248.99 \quad 64.68 \text{ A}$  ;  
 $\dot{I}_{2a} = 8055.19 \quad - 105.86 \text{ A}$  ,  $\dot{I}_{2b} = 4610.56$
- 133.29 A,  $\dot{I}_{2c} = 12331.48 \quad 64.23 \text{ A}$  .

上述数据中,非故障相 b 的两侧电流完全一样,说明计算结果是可信的。

我们特别关注发电机 ac 相间内部短路时的三相两侧电流相位差为

$$\alpha = 6.91^\circ, \quad \beta = 0^\circ, \quad \gamma = -0.45^\circ$$

注意这里  $i_2$  相量的正向采用由左向右的规定,与图 1 中的  $\dot{I}_2$  定向相反。根据这种电流相量的正方向定向,发电机外部短路时应有  $\alpha = 0^\circ$ ,现在讨论的这种内部相间短路的相位关系十分接近外部短路的相位特征,将严重影响保护灵敏度,因为这时保护的动作用只能依靠两侧电流  $I_1$  和  $I_2$  在大小的差别了。

### 3 主设备纵差保护新方案

针对提出的问题,寻求新纵差保护方案,要求满足:

- 采用 P 级互感器,但不担心在外部短路电流很大且有非周期分量的暂态过程中发生误动。
  - 内部短路时有流出电流,但仍有较高灵敏度。
- 这种新方案可称为标积制动原理的比率制动式纵差保护,可应用于发电机、变压器和大型电动机等作为内部故障主保护。

#### (1) 标积制动原理

仍规定  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$  相量的正向为流入被保护设备,定义:

$$\text{差动电流 } I_d = I_1 + I_2$$

$$\text{制动电流 } I_H = \sqrt{I_1 \times I_2 \cos \alpha} \quad (5)$$

式中  $\alpha$  ——  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$  之间相位差,  $\alpha = \angle(I_1, I_2)$ 。

当  $-90^\circ < \alpha < 90^\circ$ , 即  $\cos \alpha > 0$  时,  $I_H =$  式(5) 0, 有制动作用,这是外部短路的一般特征。

当  $90^\circ < \alpha < 270^\circ$ , 即  $\cos \alpha < 0$  时,  $I_H$  呈现虚数,令  $I_H = 0$ , 所以不再有制动作用,这是内部短路的一般特征。

#### (2) 标积制动原理的比率制动式纵差保护(图 2)

图 2(a) 与图 2(b) 对比,纵坐标  $I_d$  不变,但横坐标不是  $I_{res,0}$  而是  $I_H$ ,图 2(a) 是  $I_d \sim I_{res,0}$  构成的比率制动关系,图 2(b) 是  $I_d \sim I_H$  构成的比率制动关系。

图 2(a) 与图 2(b) 的最小动作电流  $I_{op,0}$  整定原

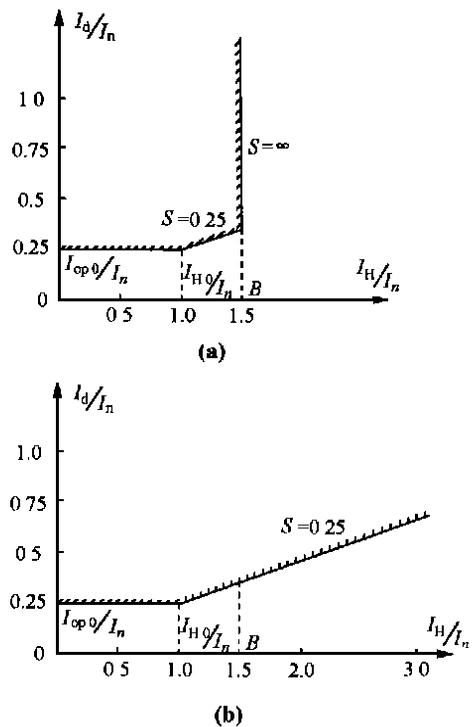


图 2

则完全一样,但图 2(b) 考虑到变压器的过励磁或过电压,使这时的不平衡电流急剧增大,因此利用电压或电压/频率来改变  $I_{op,0}$ ,使之增大到  $3 \sim 5 I_{op,0}$ 。

图 2(a) 和图 2(b) 的最小制动电流  $I_{res,0}$  和  $I_H,0$  均选取被保护主设备额定电流  $I_n$  的  $0.8 \sim 1.0$  倍。折线斜率对于发电机可取  $S = 0.25$ , 变压器可取  $S = 0.3 \sim 0.5$ , 选择原则可参阅《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》。

图 2 的最大特点是 B 点的设置;新的动作判据规定:

·当  $I_H / I_n > B$ ,  $I_1 / I_n > B$  和  $I_2 / I_n > B$  时,  $I_d =$  , 即保护不动作[图 2(a)]。

·当  $I_H / I_n > B$ , 但  $I_1 / I_n$  或  $I_2 / I_n < B$  时, 按图 (b) 动作。

推荐  $B = 1.5$ , 即当外部短路时,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $I_H = \sqrt{I_1 + I_2} = I_k$  (外部短路电流), 这时若有  $I_H = I_1 = I_2 > 1.5 I_n$ , 纵差保护绝不动作; 如果外部短路电流  $I_k$  更大, 保护越不会误动, 这就解除了互感器饱和引起的误动问题。对于  $I_k < 1.5 I_n$  的外部短路情况, 任何按技术要求正确选型的互感器, 不可能由于互感器严重饱和而导致保护误动。

上述新动作判据是否在内部短路且  $-90^\circ < \alpha < 90^\circ$  时, 出现  $I_H / I_n$ 、 $I_1 / I_n$  和  $I_2 / I_n$  均大于 B ( $B = 1.5$ ),

而错误判为外部短路使保护拒动?

通过对二滩、三峡等大型发电机内部短路的分析计算,绝大部分的两侧电流相位差有  $270^\circ > > 90^\circ, \cos < 0$ , 从而  $I_H = 0$ , 保护灵敏动作。但是也确实有少数实例(如前述三峡发电机 ac 相间短路),  $90^\circ > > -90^\circ, \cos > 0, I_H \neq 0$ 。进一步观察三峡2号机 ac 相间短路算例, 虽然  $\theta = 0^\circ$ , 但该机  $I_n = 22452A$ , 只有  $I_{1c} = 1.6 I_n$ , 与其对应的  $I_{2c} = 0.549 I_n$ , 其余  $I_{1a}, I_{2a}, I_{1b}, I_{2b}$  均小于  $1.5 I_n$ , 所以这次内部相间短路, 纵差保护将按图2(b)动作, 由于斜率  $S = 0.25$ , 动作灵敏度仍较高。

经过上述分析和实例验证, 可见标积制动原理的比率制动或纵差保护新判据, 对外部短路很大电流不怕互感器严重饱和而误动, 对内部短路表现出

很高灵敏度, 并不要求采用“考虑暂态特性的保护用电流互感器”。

#### 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护整定计算用. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 国家电力公司. 大型发电机变压器继电保护整定计算导则. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [3] 二滩水电开发有限责任公司. 二滩水电站主变及发电机保护(GIUPS)使用说明书. 四川攀枝花, 1998.

收稿日期: 2000-01-20

作者简介: 王维俭(1930-), 男, 教授, 博导, 长期从事大机组保护的教研与研究工作; 张学深(1964-), 男, 硕士, 高工, 从事电力主设备保护的设计研究。

#### Progress of longitudinal differential protection for electrical main equipment

WANG Wei-jian<sup>1</sup>, ZHANG Xue-shen<sup>2</sup>, TIAN Kai-hua<sup>3</sup>, GUO Yu-heng<sup>3</sup>

(1. Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000;

3. Ertan Hydrolic Power Station, Panzhihua 617000, China)

**Abstract:** In terms of the problems occurred during the ratio restraint longitudinal differential protection operating especially the restraint current is decreased owing to the increment of unbalanced current and saturation of the longitudinal differential protection caused by CT in external short circuit transient fault. Therefore maloperation will be resulted in. Moreover, a certain amount of out-flow current maybe exist on the primary side of generator or transformer at short circuit fault on windings. It will decrease the sensitivity of the protection or bring the protection in non-operation. The outflow current maybe load current, or maybe inductive current caused by transforming of short circuit fault to health windings. Advanced experiences at home and abroad are absorbed in this paper, together with analysis on internal fault at the main equipment, a new scheme for ratio restraint or longitudinal differential protection in scalar product restraint principle is proposed.

**Keywords:** electrical main equipment; longitudinal differential protection; ratio restraint; scalar product restraint