

# 基于多维虚拟电流差动母线保护研究与应用

刘子俊<sup>1</sup>, 晋龙兴<sup>1</sup>, 余锐<sup>2</sup>, 陈永稳<sup>3</sup>, 曹飞<sup>2</sup>

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 518001; 2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085;  
3. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]为了实现母线倒闸操作过程中母线保护在隔离刀闸出错情况下, 仍然可以可靠快速地切除故障母线, 提出了母线双位置刀闸配置与虚拟电流差动量互校原理, 并对其进行了理论分析和动态模型仿真测试。[方法]基于上述需求, 利用刀闸的双位置信息辅助虚拟电流差动逻辑, 则可以很好地解决变电站倒闸过程中出现的问题。[结果]母线保护接入刀闸双位置信息从数学量化理论来说, 降低了位置错误的可能性, 再辅以虚拟电流差动逻辑来纠错, 能很好的避免变电站倒闸操作出现问题导致母线无选择性的跳闸。[结论]母线保护接入双位置刀闸辅助开入, 并辅以虚拟差动逻辑判据, 可有效对倒闸操作过程中发生的刀闸位置异常进行纠错处理, 从而确保母线保护的选择性和可靠性。

**关键词:** 母线保护; 双位置刀闸; 虚拟电流差动; 可靠性

中图分类号: TM7

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0054-04

## Research and Application of Busbar Protection Based on Multidimensional Virtual Current Differential

LIU Zijun<sup>1</sup>, JIN Longxing<sup>1</sup>, YU Rui<sup>2</sup>, CHEN Yongwen<sup>3</sup>, CAO Fei<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518001, China;

2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China;

3. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] Paper aims that the busbar protection can reliably and quickly remove the fault bus when the disconnecting switch is wrong in the process of bus switching operation, the principle of bus double-position switch configuration and virtual current differential mutual calibration is put forward, and its theoretical analysis and dynamic model simulation test are carried out. [Method] Based on the above requirements, the virtual current differential logic assisted by dual position information of switch can solve the problems in the switching process of substation. [Result] In terms of mathematic quantization theory, the double position information of bus protection cutter and switch reduces the possibility of location error, and then assisted by virtual current differential logic to correct the error, can very well avoid substation switching operation problems leading to bus non-selective tripping. [Conclusion] Busbar protection can be connected to double-position switch auxiliary opening and assisted by virtual current differential logic criterion, which can effectively correct the abnormal position of switch during switching operation for bus, thus ensuring the selectivity and reliability of bus protection.

**Key words:** busbar protection; double-position isolate; virtual current differential; reliability

倒闸操作是变电值班人员最重要的工作之一, 倒闸期间形成母线互联运行方式, 是电网可靠运行薄弱环节, 此时若发生母线故障, 将导致全站停

电, 造成严重事故。为了减少事故的发生, 倒闸操作应避开敏感时间段(每天 7:00—23:00 及特殊保供电时期), 同时制定了严苛的倒闸操作流程。尽管如此, 仍然存在给变电站安全运行带来隐患的问题:

1) 母差保护失去选择性: 整个倒闸操作期间由于母差保护的母线互联压板的长期投入, 母差保护长时间失去选择性, 将导致倒闸操作期间发生故障, 扩大事故范围。

2) 人工操作的不确定性: 母线互联压板和母联断路器控制电源的投退完全由操作人员手动完成, 一定程度上增加了倒闸操作时间, 增加了变电站在非正常运行方式下发生故障的风险。另外, 倒闸操作多在夜间进行, 操作人员精神状态不稳定也会增大误操作的风险。

本文研究了辅以虚拟差动逻辑的双位置刀闸系统母线保护, 并通过可靠性量化分析整个母线保护系统实际应用可行性。

## 1 多维虚拟电流差动原理及应用

### 1.1 母线刀闸双位置系统现状

采用刀闸双位置的母线保护对应于刀闸单接点开入(常开), 开入量为 10 时, 判为刀闸合位, 开入量为 01 时, 判为刀闸分位。对于双母线主接线某个线路(或主变)间隔, 其 I 母刀闸开入和 II 母刀闸开入均为合位时, 则判为该间隔刀闸双跨, 母线保护报“母线互联”, 母线保护失去小差选择性; 其 I 母刀闸开入和 II 母刀闸开入均为分位时, 则判为该间隔退出运行。

采用双位置刀闸, 双位置逻辑表如下:

表 1 母线刀闸双位置逻辑表

Tab. 1 Busbar switch double-position logic table

I 母		II 母		直接判断结果	状态	Run Mode I	Run Mode II
常开	常闭	常开	常闭				
1	0	0	1	I 母刀闸合位 II 母刀闸分位	正常	* 1 *	* 0 *
0	1	1	0	I 母刀闸分位 II 母刀闸合位	正常	* 0 *	* 1 *
1	0	1	0	母线双跨	正常	* 1 *	* 1 *
0	1	0	1	间隔停运	正常	* 0 *	* 0 *
0	0	1	0	I 母刀闸异常 II 母刀闸合位	I 母异常	* 0 *	* 1 *
1	1	1	0	I 母刀闸异常 II 母刀闸合位	I 母异常	* 0 *	* 1 *

### 1.2 虚拟电流差动原理

刀闸双位置信息接入母线保护, 仅仅是起到了

减少刀闸位置异常的概率, 而不能避免, 在出现刀闸位置异常的情况下, 如果能找到方法进行及时纠错, 则可以最大限度的起到保护作用。

母线保护经典电流差动原理为:  $|i_1 + i_2 + \dots + i_n| \geq I_0$  (式中  $i_1, i_2, \dots, i_n$  为支路电流,  $I_0$  为差动电流门坎值)。母线差动保护是将母线上所有的各连接元件的电流互感器按同名相、同极性连接到差动回路, 形成具有跳闸出口的差动量。排除母线系统不平衡电流及母线故障时电流流程的情况, 如果母线系统没有故障, 则母线差动保护的大差差流和小差差流都满足  $\sum I = 0$ 。

对于双母线主接线, 母线保护大差判据为确保母线故障时保护动作的可靠性, 不考虑各间隔刀闸位置, 只作为母线保护故障判别启动元件。小差判据依据每段母线所在间隔的刀闸位置形成的电流差动作为故障判别主逻辑, 决定对故障性质、破坏强度的判别, 母线段选择性以及形成跳闸出口, 最终切除故障。

现有母线保护按段形成两个运行方式字(I 母和 II 母), 因每个间隔实际运行态有 4 种情况, 如果运行方式字有错, 但 I 母和 II 母方式字无法相互直接校核, 依据方式字形成的电流差动逻辑到出口跳闸, 将毫无防范, 严重降低了现有母线保护的可靠性; 如果母线保护能通过电流校验能识别出明显异常, 往往简单将双母线强制为单母线, 保护失去选择性。由此可见刀闸位置在现有母线保护差动逻辑中的重要性。

在采用刀闸双位置接入母线保护装置后, 将新增 6 个临时运行方式字和 6 个对应虚拟差流。整个母线形成两个虚拟大差差流(分别依据常开节点和常闭节点计算); 每段母线再形成两个临时运行方式字及对应的两个虚拟小差差流; 两段母线的 4 个临时运行方式字形成 4 个虚拟差动电流互校, 并与两个虚拟大差差流进行校核。虚拟差动量的依据及基本逻辑框图如图 1 所示。

依据刀闸双位置形成的虚拟差流, 大差虚拟差流在母线系统没有故障时为零; 若存在某个间隔的刀闸位置丢失, 则大差虚拟差流不等于零。对于各段母线虚拟差流, 由于存在刀闸双跨、刀闸位置节点不正常反应刀闸实际状态等情况, 则可能出现 I / II 母虚拟差流不平衡的情况, 此时通过刀闸记忆、虚拟差流综合比照, 可以实现对异常刀闸位置

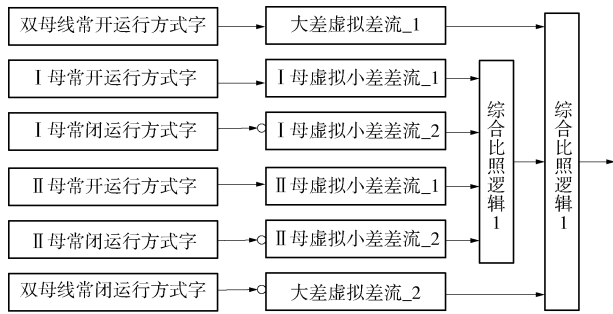


图1 虚拟电流差动逻辑框图

Fig. 1 Virtual current differential logic

的预判定位，精准告警。

如表2所示，以某线路支路从I母倒到II母的倒闸操作为例，倒闸完毕之后，依据I母、II母虚拟差动及各刀闸虚拟装置位置，形成虚拟差流对照表。

表2 倒闸操作过程中各虚拟差流示列表

Tab. 2 Virtual differential current in the process of bus switching operation

序号	I母		II母		I母虚拟差动	II母虚拟差动	大差虚拟差动
	常开	常闭	常开	常闭			
倒闸状态1	1	0	0	1	$\sum 1=0$	$\sum 2=0$	$\sum =0$
倒闸状态2	1	0	1	0	$\sum 1 \neq 0$	$\sum 2 \neq 0$	$\sum =0$
中间态	0	0	1	0	$\sum 1 \neq 0$	$\sum 2 \neq 0$	$\sum =0$
倒闸状态3	0	1	1	0	$\sum 1=0$	$\sum 2=0$	$\sum =0$

### 1.3 虚拟差动试错处理

母线保护刀闸二次回路采用双位置开入，本身就具备一定的错误校正机制。从母线刀闸的辅助开关的结构上来说，不会同时出现11的情况，如果出现，必然是接点故障，最容易出现的是在刀闸从合到分的过程，在转换过程中会出现00的情况，短时间的00意味着操作中，长时间的00意味着接点故障。以某线路支路的I母刀闸由合到分的倒闸操作为例进行典型应用分析。

过程1：刀闸常开常闭接点均无（“00态”），判为刀闸在操作过程中，母线自动转为单母线运行。

过程2：“00态”超过一定时间（刀闸操作最长时间），则判为刀闸位置异常，根据虚拟差动量自

动识别刀闸位置。电流负荷满足识别精度的情况下，则转为符合虚拟差动识别逻辑的刀闸运行方式字。

对于刀闸常开常闭接点均有（“11态”）的情况，基本逻辑如下：

情况1：一把刀闸常开常闭接点均有，判为刀闸位置异常，根据虚拟差动逻辑自动识别刀闸位置。

情况2：两把刀闸常开常闭接点均有，判为刀闸位置异常，根据虚拟差动逻辑自动识别刀闸位置。

采用临时运行方式字与虚拟差流的逻辑，能很好的解决母线绝大部分刀闸异常，但对于母线系统异常间隔轻负荷或无负荷状态下，虚拟差动逻辑失效，此时将采用多空间刀闸校核记忆方法进行处理。此时若采用临时刀闸互校、大差虚拟电流、以及对电力系统运行有利原则，仍能作出有效的判断。以某线路支路（无负荷）的I母刀闸由合到分的倒闸操作为例进行分析：

1)若电流负荷轻，虚拟差动量不满足识别精度，在倒闸操作过程中出现刀闸常开常闭接点长时间异常（“00态”或“11态”），判为刀闸位置异常。

2)若II母刀闸双位置为分位，则采用记忆逻辑，取异常前刀闸位置状态，该判决结果可能会将“停运间隔”误判为运行间隔，在刀闸双位置节点异常时将停运间隔判为在运间隔是有利的，否则可能会导致该间隔拒动或延迟跳闸。

3)若II母刀闸双位置为合位，则判为I/II刀闸同时存在，双母线互联运行。

轻负荷间隔倒闸操作时母线保护装置发出“刀闸位置异常”告警后，需要运行人员予以查看保护装置收到的刀闸状态。在运行人员“刀闸位置确认”前，母线保护采用虚拟差动和母线大差相配合逻辑，此时母线保护对母线故障没有选择性，保留母线保护差动逻辑，确保母线保护快速、可靠切除故障。

## 2 刀闸双位置可靠性量化

母线保护所用母线每段的运行方式字一般由多个刀闸“串联”而成，只有每个刀闸位置都正确可靠，运行方式字才正确，母线保护才能可靠运行。只要其中一个刀闸位置错误，整个方式字及后面的

跳闸出口矩阵都为错误。因此母线保护的可靠运行与母线系统每个刀闸位置的可靠性有直接关系。根据可靠性理论, 假定每个刀闸位置的可靠度均相等且为  $R_1$ , 则  $m$  个刀闸形成的刀闸运行方式字的可靠度  $R_1$  为:

$$R_1 = R_1^m \quad (1)$$

若每段母线采用双运行方式字(每个方式字并联), 令每个方式字的可靠度为  $R_1$ , 假定其中一个方式字错误(失效)后, 另一个方式字仍能继续应用, 则其可靠度  $R_2$  为:

$$R_2 = 2R_1 - R_1^2 \quad (2)$$

根据可靠性理论, 对于  $n$  个并联因子, 若允许  $r$  个因子异常, 则可靠度  $R_n$  公式为:

$$R_n = R_1 + nR_1^{n-1}\bar{R}_1 + \frac{n(n-1)}{2}R_1^{n-2}\bar{R}_1^2 + \dots + \frac{n!}{r!(n-r)!}R_1^{n-r}\bar{R}_1^r \quad (3)$$

式中:  $\bar{R}_1$  为单个刀闸位置失效概率,  $\bar{R}_1 = 1 - R_1$ 。

根据以上可靠性分析, 如果一个刀闸位置可靠度为 0.995, 一个母线系统 24 个间隔, 采用刀闸单位置, 则一段母线运行方式字的可靠度为  $R_1 = 0.887$ ; 采用刀闸双位置, 则一段母线运行方式字的可靠度  $R_2$ , 可靠性提高 10%。

$$R_2 = 2R_1 - R_1^2 = 2 \times 0.887 - 0.887^2 = 0.987 \quad (4)$$

### 3 结论

采用双位置刀闸, 从数学量化分析上看, 比采用单位置刀闸, 可靠性至少提高了 10% 以上。而采用刀闸双位置节点的母线保护, 结合虚拟差动逻辑判据, 在变电站母线倒闸操作过程中, 可以有效的检测出隔离刀闸辅助节点的异常, 并能通过虚拟差动电流逻辑进行及时纠正错误, 并根据刀闸的双位置节点信息, 正确的确定目前刀闸位置所处的状态, 从而选去合适策略, 确保变电站母线倒闸操作过程中, 就算倒闸位置出现异常, 母线保护也可以正确可靠的动作, 有选择性的动作, 避免事故扩大, 特别是在轻载或无流时, 母线保护都能正确切除故障。

### 致谢

感谢深圳电力公司各个部门的协助, 感谢广东

电力设计院以及北京四方继保自动化股份有限公司的全力配合和支持。

### 参考文献:

- [1] 王春生, 卓乐友, 艾素兰, 等. 母线保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护远离与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [3] 宋小舟, 操丰梅, 胡翔. 基于第三差动的双母线运行方式纠错方法. 电力自动化设备, 2004(4): 83-85.
- [4] 杨奇逊. 微型机继电保护基础 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [5] 北京四方继保自动化股份有限公司. CSC-150 数字式母线保护装置说明书 [R]. 北京: 北京四方继保自动化股份有限公司, 2007.
- [6] 操丰梅, 宋小舟, 秦应力. 基于数字化变电站过程层的分布式母线保护的研制 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 69-71.
- [7] 谢肇轩. 变电站母线停电倒闸操作注意事项分析 [J]. 中国高新技.
- [8] 王鹏程. 刀闸辅助触点状态出错对母差保护的影响 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 124-126.
- [9] 褚磊. 浅析刀闸辅助接点位置不对应对母差保护的影响 [J]. 中国科技信息, 2010(17): 116-117.
- [10] 毛乃虎. 双母线运行方式的自适应方案研究 [C]//江苏省电机工程学会. 江苏省电机工程学会 2009 年保护控制技术研讨会论文集, 南京: 江苏省电机工程学会, 2009: 25-28.

### 作者简介:



LIU Z J

刘子俊 (通信作者)

1980-, 男, 广东广州人, 工程师, 硕士, 主要从事电网继电保护工作 (e-mail) tedljz@163.com.

### 晋龙兴

1987-, 男, 四川简阳人, 工程师, 硕士, 主要从事电网继电保护整定计算工作 (e-mail) 13602563695@163.com.

### 余锐

1977-, 男, 湖南醴陵人, 高级工程师, 硕士, 主要从事继电保护工作 (e-mail) yurui@sf-auto.com.

### 陈永稳

1983-, 男, 广东新会人, 高级工程师, 硕士, 主要从事变电站电气二次设计工作 (e-mail) chen Yongwen @ ge-di.com.cn.

### 曹飞

1979-, 男, 河南开封人, 工程师, 硕士, 主要从事继电保护工作 (e-mail) caofei@sf-auto.com.

(责任编辑 李辉)