

# 电流闭锁式母线快速保护系统分析与实时仿真

朱革兰, 李海锋, 王钢

(华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 中低压母线保护一直以来没有得到应有的重视, 因动作时间较长, 造成配电设备损坏、供电可靠性下降的事故屡有发生。其主要原因是没有一种原理可靠动作逻辑简单且投资较小的保护。为给现场提供较好的保护方案, 对电流闭锁式母线快速保护系统的结构和动作特性进行了深入剖析, 提出了部分改进措施, 并基于 Hypersim 仿真软件对该保护的有关设备特性进行了全面数字动模仿真试验, 验证了该保护系统的逻辑简单以及可靠性和灵敏性等特点。

**关键词:** 母线; 继电保护; 配电系统; Hypersim; 仿真

## Analysis and real-time simulation of current blocking fast busbar protection system

ZHU Ge-lan, LI Hai-feng, WANG Gang

(Electrical Engineering College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** For a long time middle and low voltage busbar protection has not got enough attention. Power distribution unit damage is caused by long operating time which results in decline of power supply reliability. The main cause lies in lack of a reliable and simple logic and small-investment bus protection. Current blocking fast busbar protection system is studied and improved in this paper. Related relaying equipments is tested real time using HYPERSIM simulating units. Reliability and sensitivity are proved.

**Key words:** busbar; protective relaying; power distribution; HYPERSIM; simulation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)09-0057-03

## 0 引言

在变电站设计中, 一直以来对中低压母线的保护设计指导思想就是依靠相邻元件的后备保护来实现, 一般都不装设母线专用保护。究其原因认为是认为 35 kV 及以下电压等级母线的稳定问题还不算突出, 以及考虑中低压母线的特点, 如出线条数多, 操作频繁, 母线保护易发生人为误动, 切除大量电源和线路, 造成巨大损失从而得不偿失。同时装设中低压母线专用保护设备造成投资增大, 必然会受到经济因素的制约。

但是, 母线故障由相邻设备的后备保护经一定延时后切除, 有两个问题, 一是其保护的灵敏性不足, 二是保护动作的时间较长。这样经常使得不少原本可以快速消除的故障被发展、扩大, 造成配电装置严重烧毁, 供电长期不能恢复等严重事故。现场已屡屡发生这样的案例。

因此, 针对这些问题, 中低压母线需要一种保护原理构成简单、不需增加大量一次设备同时可靠性灵敏性要求较高的快速保护。有关文献资料提出的方案不少<sup>[1~3]</sup>, 但有现场运行业绩的不多<sup>[4]</sup>, 更没有对其进行深入分析。电流闭锁式快速保护系统是

能够较好地同时满足上述要求的一种保护方案。本文深入分析了电流闭锁式快速保护系统, 并基于数字实时仿真系统 Hypersim 对深圳南瑞的有关 10 kV 母线保护装置进行了数字动模试验。

## 1 电流闭锁式快速保护系统原理

电流闭锁式母线快速保护(以下简称母线快速保护)不是单独的保护装置, 是一个系统, 它是由两部分组成, 一是“嵌入”在变低后备保护装置中的动作元件, 二是“嵌入”在 10 kV 出线(包括馈线、站用变回路、并联补偿电容回路等)保护装置中的电流闭锁元件组成。逻辑关系如图 1 所示。

动作元件是反应流经变低开关电流的增大而动作的, 母线上发生任何相间短路, 都能够反应。闭锁元件是反应 10 kV 出线电流增大而动作瞬时发出闭锁信号, 该信号被瞬时传送到变低后备保护装置中母线快速保护的逻辑回路中, 以闭锁母线快速保护。

母线快速保护功能设置为投入和分段开关处于断开状态, 母线故障时, 所有闭锁元件均不动作, 母线速断保护接收不到馈线闭锁信号, 同时过电流元件启动, 经一短延时  $T_1$  动作出口, 跳开变压器低

压侧断路器，同时闭锁 10 kV 备自投。保护不能瞬时动作的原因有二：一是与变压器差动保护配合，二是与馈线过电流保护配合，躲开暂态过程，提高保护可靠性，防止保护误动，动作速度理论上可以小于 100 ms。

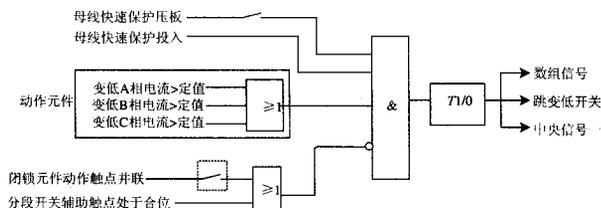


图 1 母线快速保护动作逻辑关系

Fig. 1 Operating logic relation of fast busbar protection

当出线保护范围内故障时，闭锁元件瞬时发出闭锁信号并传送至变低后备保护装置，闭锁母线快速保护。

该母线快速保护方案的特点是在构成上不需要增加和改变 CT 和 PT 设备和回路，只是在综合保护上增加构成母线快速保护触点的配合触点，增加的电缆也不多。从现有变电站低压侧保护装置改造看，不需要另外增加更多的硬件，就可增加母线快速保护功能。

## 2 母线快速保护特性分析

### 2.1 馈线保护闭锁信号的灵敏性问题

从上面的原理分析可以看出，若母线故障该母线快速保护拒动，则仍由原先的变低后备保护延时跳开故障，但若误动，则造成的后果将是十分恶劣的，这也是现场运行人员最担心的问题。因此有必要探讨保护方案中闭锁信号的灵敏性问题。

前面所述的闭锁元件是按照躲开被保护元件的最大负荷电流来整定的，而其灵敏性则要用最小运行方式下末端两相短路时的电流进线校验，因此，灵敏度有时难以满足要求。

鉴于此，本文提出用自适应过电流保护以提高闭锁元件灵敏度的方案，如下分析。

自适应过电流保护的特点是它能在发生故障时实时求出对应于当时运行方式下的负荷电流和系统电源侧的综合阻抗，自动进行整定计算，从而使保护的能达到最佳状态。

利用微机保护的数据采集和处理，可以实时在线测出馈线的负荷电流  $I_L$ ，随之利用式 (1) 计算出保护装置的起动电流  $I_{act}$ 。

$$I_{act} = K_{rel} \frac{K_{Ms}}{K_{re}} I_L \quad (1)$$

当被保护线路发生故障时， $I_L$  就是故障前的电流，用故障电流和这样实时计算出来的动作电流  $I_{act}$  进行比较，判断区内或区外故障。由于大多数情况下，线路都在小于最大负荷条件下运行的，因此可以显著地提高保护的灵敏度。

### 2.2 闭锁信号的传递

变低后备保护装置上的母线速断保护与各出线单元闭锁元件之间的信号传递，有两种方式，一是硬触点方式，二是网络方式。

从提高可靠性出发，同时对于现有变电所母线保护的改造而言，采用硬触点方式较为便利，能够防止母线速断保护误动，造成不必要的停电。即将出线上的所有单元的瞬时动作触点并联后接入后备保护装置，以闭锁后备保护装置的母线速断保护。如图 1 所示。此方法的优点是原理简单可靠，易于实现。但闭锁元件应提供动作出口继电器的空触点，也就是需要引出出线上所有单元的瞬动触点，且并联后接入后备保护装置。

对于网络方式，是指出线上的所有单元与变压器后备保护装置通过专用网络连接，出线上的单元瞬时动作后，通过网络发一闭锁指令至变压器后备保护装置，以闭锁后备保护装置的母线速断保护。

此方法优势在于对通道有自检功能，也符合分布式母线保护的发展方向，缺点是在现阶段，网络通信的可靠性得不到普遍信任，并且当通信中断时，会造成闭锁元件失效。

### 2.3 出线端有小电源的情况

当馈线侧有小电源时，只用馈线电流的大小很难判断出是线路故障还是母线故障。如图 2 所示。

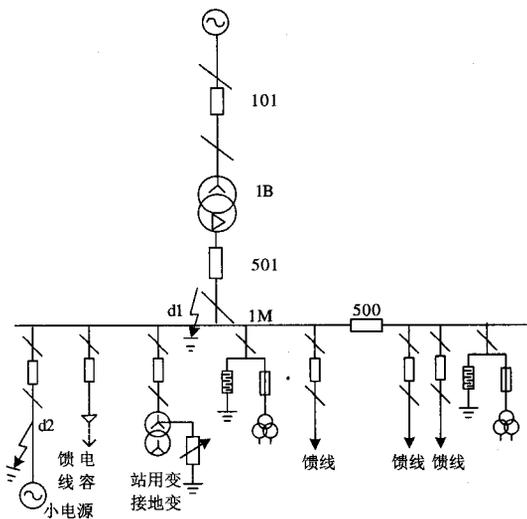


图 2 馈线带小电源网络示意图

Fig.2 Schematic of feeder line with small power supply

母线上 d1 点故障时, 馈线上的电流由小电源供电, 方向由线路流向短路点。当馈线上 d2 点故障时, 流过馈线上的电流是系统侧电源供电, 方向由母线流向短路点。由此可见, 仅用电流的大小来区分故障的位置会得到错误的结论。因此, 在这种情况下, 根据馈线电流方向的不同来判断故障是一个较好的选择。在馈线保护中闭锁信号的发出, 除了过电流元件动作外, 另需增设一方向元件。用电流的大小和方向来判断故障的位置。无论线路正常运行时馈线电流的方向如何, 故障时电流的方向总是如前所述, 再加上电流大小的变化作闭锁, 可以准确地判断出是馈线故障还是母线故障了。逻辑关系如图 3 所示。

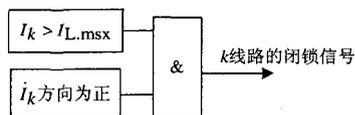


图 3 带小电源的馈线闭锁信号逻辑

Fig.3 Blocking signal logic of feeder with small power supply

### 2.4 电流互感器对保护的影响

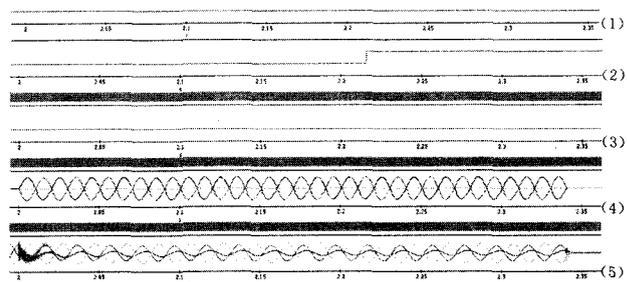
中低压母线的短路容量一般都比较小, 一般不会出现电流互感器严重饱和, 二次电流波形严重失真的情况, CT 饱和问题无须特别考虑。只有暂态短路电流中包含着一定的非周期分量时, 才能导致 CT 饱和。据此, 在中低压供配电网络中, 由于线路采用的是放射式的且出线较多, 因此当出线出口处发生短路时, CT 可能会产生饱和现象。对于其中的暂态饱和, 母线保护中的启动元件动作从延时上可以躲过。对应其中的稳态饱和, 我们可以通过计算 CT 的二次负荷在满足 10% 误差曲线的前提下, 选择合适的电流互感器。

### 3 基于 Hypersim 的数字实时仿真研究

Hypersim 是加拿大魁北克 TEQSIM 公司开发的一种基于并行计算技术、采用模块化设计、面向对象编程的电力系统全数字实时仿真系统, 在 SGI 超级计算机上与实际电力系统器件连接而进行实时在线仿真。Hypersim 提供了电磁仿真的准确性、并行处理器强大的计算能力以及离线仿真的灵活性。以图 2 主接线为模型, 验证电流闭锁式母线快速保护系统的工作原理, 以深圳南瑞继保的 ISA 系列有关装置为例进行故障数字动模试验, 以测试母线快速保护系统性能。

图 4 是母线在 2 s 时发生 AB 相间短路, 变低保护无闭锁信号输入, 保护在 0.2 s 以后发出跳闸命

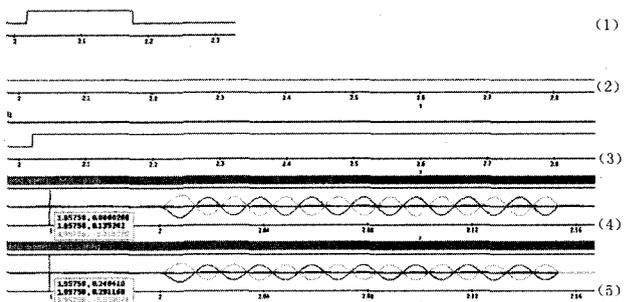
令, 经试验中模拟断路器的动作时间约 120 ms 后正确跳开断路器。图 5 是馈线上 2 s 时发生 AC 相间短路, 闭锁信号在 2.019 s 发出, 闭锁了变低保护, 故障由馈线保护电流 I 段经 0.2 s 延时有选择性切除。



(1) 变低保护的闭锁开入信号 (2) 变低保护的出口信号  
(3) 馈线保护的出口信号 (4) 母线三相电流 (5) 馈线三相电流

图 4 母线故障录波图

Fig. 4 Wave record of busbar fault



(1) 变低保护的闭锁开入信号 (2) 变低保护的出口信号  
(3) 馈线保护的出口信号 (4) 母线三相电流 (5) 馈线三相电流

图 5 馈线故障录波图

Fig.5 Wave record of feeder fault

更进一步, 对于母线和馈线的同时故障或发展性故障, 也做了实时仿真试验, 验证了母线快速保护系统动作的正确性。

### 4 结论

本文系统剖析了电流闭锁式母线快速保护系统的动作原理逻辑, 把保护系统分成动作元件和闭锁元件两部分, 通过对它们的特性深入分析, 并基于仿真系统 Hypersim 对有关保护设备在各种故障条件下进行了实时仿真试验, 证明该保护系统原理清晰, 动作逻辑简单, 不需增加太多硬件, 就能构成中低压母线的快速保护功能, 有助于运行或设计人员对该保护系统的理解和使用。

(下转第 64 页 continued on page 64)

al. Harmonic Source and Compensation Characteristics of Active Power Filters[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(2): 16-20.

[4] 胡铭, 陈珩. 有源滤波技术及其应用[J]. 电力系统自动化, 2000, 25(10): 66-70.  
HU Ming, CHEN Heng. Active Power Filter Technology and Its Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(10): 66-70.

[5] 王兆安, 杨君, 刘进军, 等. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

[6] Kwon B H, Kim T W, Youm J H. A Novel SVM-based Hysteresis Current Controller[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 1998, 13(2): 297-307.

[7] Marei M I, El-Saadany E F, Salama M M A. A New Contribution Into Performance of Active Power Filter Utilizing SVM Based HCC Technique[J]. Power Engineering Society Summer Meeting, 2002, 2(2): 1022-1026.

[8] 曾江, 刁勤华, 倪以信, 等. 基于最优电压矢量的有源滤波器电流控制新方法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(6): 25-31.  
ZENG Jiang, DIAO Qin-hua, NI Yi-xin, et al. A Novel Current Control Method for Active Power Filter Based on Optimal Voltage Vector[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(6): 25-31.

[9] 姜俊峰, 刘会金, 陈允平, 等. 有源滤波器的电压空间矢量双滞环电流控制新方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 82-86.  
JIANG Jun-feng, LIU Hui-jin, CHEN Yun-ping, et al. A Novel Double Hysteresis Current Control Method for Active Power Filter with Voltage Space Vector[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 82-86.

[10] 曾国宏, 郝荣泰. 有源滤波器滞环电流控制的矢量方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(5): 31-40.  
ZENG Guo-hong, HAO Rong-tai. A Novel Phase-correlating Hysteresis Current Control Method for Active Power Filter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5): 31-40.

[11] 张兴, 张崇巍. PWM 可逆变流器空间电压矢量控制技术的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 102-105.  
ZHANG Xing, ZHANG Chong-wei. Study on a New Space Voltage Vector Control Method About Reversible PWM Converter[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10): 102-105.

收稿日期: 2008-06-24; 修回日期: 2009-02-25  
作者简介:

叶小军 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为有源电力滤波器控制; E-mail: epyex@163.com

曾江 (1972-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电能质量、有源电力滤波器控制、配网自动化等;

王克英 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向为微型计算机在电力系统测量和控制中的应用。

(上接第 59 页 continued from page 59)

参考文献

[1] 潘贞存, 王葵, 杜世双, 等. 中低压母线加装专用继电保护的必要性和几种方案的探讨[J]. 电网技术, 2002, 26(9): 75-77.  
PAN Zhen-cun, WANG Kui, DU Shi-shuang, et al. On Necessity of Equipping Dedicate Protection Device to Busbar in Distribution Network and Several Implementing Projects[J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 75-77.

[2] 潘贞存, 丛伟, 丁磊, 等. 基于纵联比较原理的降压变压器及其中低压母线保护方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (1): 83-85.  
PAN Zhen-cun, CONG Wei, DING Lei, et al. New Protection Scheme for Step-down Transformer and Crossponding Middle and Low Voltage Buses Based Longitudinal Comparison Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (1): 83-85.

[3] 赵京立, 马晓黎. 一种 10kV 至 35kV 母线保护方案 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (21): 59-60.  
ZHAO Jing-li, MA Xiao-li. 10 kV to 35 kV Bus Protection Scheme[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (21): 59-60.

[4] 李韶涛, 常胜. 高压变电站 10kV 母线保护的分析和研究[J]. 继电器, 2003, 31 (8): 30-33.  
LI Shao-tao, CHANG Sheng. Analysis and Study on 10kV Busbar Protection of HV Substation[J]. Relay, 2003, 31 (8): 30-33.

收稿日期: 2008-06-05  
作者简介:

朱革兰 (1968-), 女, 博士, 讲师, 主要从事电力系统故障分析与继电保护的教学与科研工作; E-mail: zgzelan@21cn.com

李海锋 (1976-), 男, 博士, 讲师, 主要从事电力系统故障分析与继电保护的教学与科研工作;

王钢 (1966-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统保护、控制及自动化领域的教学与科研工作。