

# 电厂 6 kV 系统级联保护方案

董杰<sup>1</sup>, 黄生睿<sup>2</sup>, 刘全<sup>1</sup>, 杜振华<sup>1</sup>, 张友<sup>1</sup>

(1. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085; 2. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 电厂 6 kV 母线故障一般只能靠相邻元件的后备保护跳闸, 时延较长。如果装设简易的快速母线保护(快母), 则电动机的反馈电流、电动机启动或自启动等可能会误闭锁快母。提出了一种称为“级联保护”的母线保护方案, 在原保护装置配置的基础上增加级联保护功能, 采用立即闭锁、自动展宽、保护冗余的方法, 结合方向元件、定值整定、监视闭锁通道等方法, 较好地解决了这些问题, 可在 100 ms 内出口跳闸, 大大缩短了母线故障的动作时间, 可适用于电厂供电系统和厂矿企业供电系统。

**关键词:** 快速母线保护; 电厂供电; 反馈电流; 母线故障

## Cascading protection scheme in 6 kV system of power plant

DONG Jie<sup>1</sup>, HUANG Sheng-ru<sup>2</sup>, LIU Quan<sup>1</sup>, DU Zhen-hua<sup>1</sup>, ZHANG You<sup>1</sup>

(1. Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing 100085, China;

2. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** Generally, the bus fault occurred in power plant 6 kV system can only rely on protections of adjacent element to cut off the fault which will delay too long. When simplified fast bus protection is applied, it may be locked in error because of the feedback current, start or self-start current of electromotor. As a solution of these problems, a fast bus protection scheme called “cascade protection” is proposed, which is not added in an additional device but in the normal protection devices. Combining the direction element, setting values and monitoring locking channel, some methods are applied, such as fast lock, automatically stretching the locking signal, protection redundancy, etc, to avoid mis-lock the cascade protection. The tripping time of the new bus protection can be limited within 100 ms, which shortens the bus fault time significantly. The proposed scheme can be applied to power supply system in power plants as well as factories and enterprises.

**Key words:** fast bus protection; power plant supply; feedback current; bus fault

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0147-04

## 0 引言

在电厂 6 kV 供电系统中, 由于瓷瓶闪络、电缆头爆炸、污秽闪络、单相弧光接地等各种原因, 母线短路时有发生<sup>[1-5]</sup>, 引发开关爆炸、母线扭曲、全站失电、起火等严重情况, 造成巨大的经济和财产损失。而我国发电厂的 6 kV 母线一般不装设专用的母线保护。当发生母线故障时, 要靠厂用变压器或启动备用变压器低压侧的后备过流保护来切除。

根据 IEC298 标准附录 AA 中的规定, 开关柜内部燃弧时间是 100 ms。也就是说, 开关柜可以承受的电弧燃烧时间为 100 ms。表 1 为国外对各种燃弧持续时间下进行试验得出的对设备造成的损害程度<sup>[6]</sup>。

表 1 不同燃弧时间下对设备造成的损坏

Tab.1 Damage to equipment under different arcing time

电弧燃烧时间 /ms	设备损坏程度
35	没有明显的损坏, 一般可以在检验绝缘电阻后投入使用
100	设备损坏较小, 在开关柜再次投入运行以前仅需进行清洁或可能的某些小的修理
500	设备损坏很严重, 现场工作人员可能受到严重伤害, 必须更换部分设备才可以再次投入运行

电弧燃烧的持续时间等于保护动作时间加上断路器分闸时间之和。由于一般后备过流保护动作时间整定值为 1.1~1.6 s, 所以如果厂用 6 kV 发生母线短路故障, 其现有的保护方案将使电弧燃烧的持续时间达到 1.2~1.7 s。这么长的燃烧持续时间显然不

能满足厂用 6 kV 设备不受损坏,更无法迅速恢复设备的正常运行。因此,如果能够实现 对 6 kV 厂用母线的快速保护,在 100 ms 内切除故障,对提高供电可靠性和保证安全具有重要意义。

在电网系统,一种简易母线保护(或称为母线快速保护,简称快母)得到越来越多的应用<sup>[7]</sup>。快母是用现有保护装置增加快母功能来实现。其主要思想是用馈线保护装置来闭锁母线速断保护。如果母线故障,则各馈线不会发闭锁信号,快母快速出口跳开进线开关;如果馈线故障,则对应馈线会发闭锁信号闭锁快母。闭锁信号的传输主流趋势是采用 GOOSE,具有速度快、可靠性高、不需躲触点抖动等优点。

但电厂 6 kV 系统应用这种保护的还很少。主要问题在于电厂 6 kV 供电系统有其特殊性。

1) 电厂 6 kV 系统有大量的高压电动机,带来以下一些不利影响:

a. 反馈电流问题。当母线故障时,电动机转子绕组的磁通不能突变,从而产生幅值很高的反馈电流。如果电动机保护定值较低的话,会误发闭锁信号,造成母线保护失去速动性。

b. 启动问题。电动机的启动电流数值大、启动时间长,可能会使得电动机保护误发闭锁信号。

c. 自启动问题。当电动机正常运行时,由于外部回路瞬时故障、电压波动等各种原因,可能会造成电动机短时失去电源。而当电源恢复时,电动机将经历一个类似于启动的过程,电流可达很高的数值,容易引起电动机保护误发闭锁信号。

2) 6 kV 厂用母线段很多,并且常常采用多级串联方式(见图 1)。涉及到各级保护如何配合等复杂问题。

3) 闭锁信号的可靠传送问题。电厂负荷分散,出线回路非常多,现地层通信都是用现场总线(LONWORKS, CAN., PROFIBUS-DP, RS-485, etc),近几年内不会大量使用以太网通信,难以应用 61850,从而不能拷贝电网的 GOOSE 方案。而如果使用电信号就需要使用闭锁通道。如何监视闭锁通道的完好、以及闭锁信号的抗干扰问题都需要认真考虑。否则,将会带来灾难性后果。

上述这些问题都给使用母线快速保护带来一定的困难。本文根据电厂的特殊性,特别设计了一种母线快速保护,这里称之为级联保护。该保护具有动作速度快、稳定可靠的优点,可广泛应用于电厂供电系统和厂矿企业供电系统。

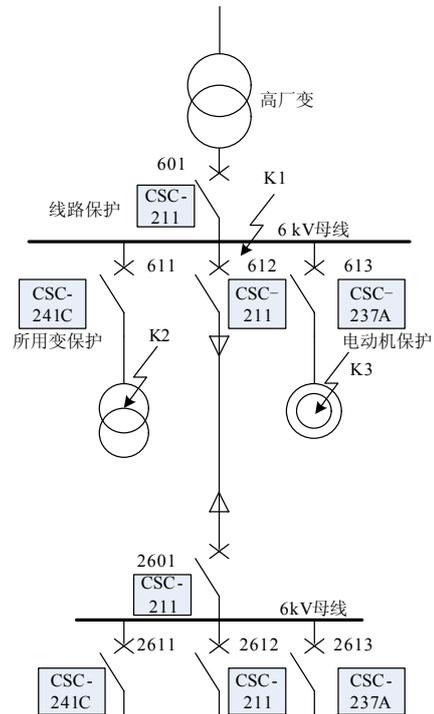


图 1 系统接线示意图

Fig.1 Connecting diagram of the system

### 1 级联保护的设计原则

为解决电厂供电方式特殊性给快母带来的这些问题,特提出级联保护的设计原则如下:

- 1) 级联保护功能分散设在各个综保装置上,在各装置上设置级联保护专用段。
- 2) 如果未能可靠闭锁而造成级联保护误动将可能带来严重后果。因此,级联保护出口段宁可拒动,但绝不允许误动,要有足够的冗余措施防止误动。
- 3) 为防止级联保护被误闭锁使得整个保护装置拒动,需要保留装置常规保护功能,并至少投入一段限时电流速断保护作为级联保护的后备保护,以确保母线故障时能够可靠切断故障。
- 4) 正确传送闭锁信号是级联保护能否正确动作的关键。因此,为确保闭锁信号的可靠性,需要对闭锁通道进行监视。
- 5) 尽量简单、易实现、易操作。对现有保护装置的改动尽量小;对运行的要求尽量小。
- 6) 可靠性要尽量高,故障损失最小。

### 2 级联保护的原理

级联保护要用馈线保护装置来闭锁电源进线母线速断保护。当下级馈线故障时能可靠闭锁上级速断保护,且闭锁出口速度要足够快;而当下级馈线

没有故障时,要排除干扰,不误闭锁。

## 2.1 闭锁信号的处理

根据电厂的现场条件,闭锁信号传输的主要方式目前还是电缆传输硬接点方式。这种方式容易受到干扰。另外,硬接点信号必须去抖,这就必然要增加保护出口时间。如果采用中间继电器重动的办法或者用光缆传输,虽然提高了抗干扰能力,但需要增加很多继电器或敷设光缆,施工和运行都复杂化了,同时去抖时间仍然是不可省略的环节。

本文提出的办法是立即闭锁、自动展宽、保护冗余的综合解决方案。当上级保护收到闭锁信号后,立即闭锁,同时自动展宽 20 ms,防止误动;下级保护启动后立即发出闭锁信号,并自动展宽 100 ms。这样,当没有收到闭锁信号时,保护可放心地快速出口,最快可在 100 ms 内出口。由于省去了对闭锁信号进行去抖、确认环节,提高了出口速度和可靠性。

## 2.2 电动机启动与反馈电流

电动机负荷的特殊性在于其具有启动、自启动、反馈电流等特殊工况。电动机启动电流可达  $7\sim 8I_e^{[9]}$ ;自启动可达  $6I_e^{[8]}$ ;反馈电流可达  $6\sim 7I_e^{[8]}$ 。如果电动机保护定值较低,就会误闭锁级联保护。这些问题可通过定值与方向元件来解决。

微机电动机保护装置的速断保护一般设为高定值与低定值。电动机启动时,自动取高定值;在电动机正常运行时自动取为低定值。因此,可以将电动机保护的高定值按躲过电动机启动电流来整定,保证在电动机启动时不发闭锁信号;低定值按躲过电动机自启动电流来整定。如果低定值不能躲过电动机反馈电流,须投入方向元件,方向元件指向电动机为正方向。这样,在电动机自启动或母线故障时,电动机保护不会误发闭锁信号。

由于方向判别需要用到母线电压,如果 PT 断线,会影响方向元件的正确动作。因此,投入方向元件后,必须考虑 PT 断线后的策略。PT 断线后一般有两种选择,一是退出方向元件,二是退出方向元件所闭锁的保护功能。如果选择 PT 断线退保护,则意味着电动机回路故障不发闭锁信号,级联保护将会误动,造成整个母线失电,后果不堪设想。因此,PT 断线后应退出方向元件,直接用元件来闭锁。虽然有可能会误闭锁级联保护,但比起级联保护误动切除整条母线来说,后者故障损失更小。

## 2.3 闭锁方式与闭锁通道监视

闭锁方式的选择与闭锁通道的监视是级联保护能否可靠运行的关键问题,需要认真考虑。闭锁方

式可选择允许式或闭锁式。

### 1) 允许式

各馈线闭锁触点采用动断触点,并串联在一起构成一个闭锁信号(开入)送至母线速断保护装置中。正常时各馈线总是发送允许信号,可随时监视此允许信号;馈线故障时,停止发送允许信号,母线速断保护收不到允许信号则闭锁。

其优点是,正常运行时,可随时检查闭锁通道的完好性。如果在一定时间内收不到允许信号,则说明闭锁通道有故障,立即发出告警信号。其另一好处是,如果发信回路故障级联保护不会误动。如果在通道故障期间突发母线故障,其最大故障损失也不过是误闭锁了母线速断保护而已,母线限时速断还能正确动作。

其缺点是,需要保护装置输出两路动断触点,并且该触点不经过启动继电器(QDJ)闭锁。而一般来说,保护装置的触点都是常开的,并大多是经 QDJ 闭锁的,因此,需要修改原有保护装置的硬件。更重要的是,在馈线检修退出运行时,需要将允许(闭锁)触点短接;而在馈线恢复供电时,需要将允许(闭锁)触点短路片打开。这就给运行增加了额外负担,一旦操作失误或疏忽大意,就会使级联保护失去其速动性。

### 2) 闭锁式

各馈线闭锁触点采用动合触点,并且并联在一起构成一个闭锁信号(开入)送至母线速断保护装置中。正常时不发闭锁信号,馈线发生故障时,发送闭锁信号。正常运行时监视此闭锁信号,保护启动后再判是否有闭锁信号。此开入有上跳沿为闭锁信号。

其优点是,不需要修改原有保护装置的硬件,因为一般来说保护装置都有备用的动合触点可供使用;对运行没有特殊要求。正常情况下,传送电缆不带电,安全性好。

其缺点是,闭锁通道故障会造成级联保护误动,从而造成重大事故。而且正常时无法直接监视闭锁通道的完好性。

根据以上分析,两种闭锁方式各有优缺点。本文采用闭锁式,同时增加了闭锁通道监视功能,以消除此方式的缺陷。

闭锁通道监视在正常运行(保护未启动)时进行,每天在某一确定的时间开始检查一次。

1) 检查开始时,各馈线保护装置依据其 485 地址顺序依次闭合其闭锁触点,脉宽 100 ms。各装置之间间隔 10 min。各馈线保护装置在闭合其闭锁

触点的同时，产生一个虚拟 SOE 变位信息。

2) 在馈线闭锁触点闭合时，进线保护装置应收到闭锁开入，并产生 SOE 变位信息。

3) 后台监控软件可分析馈线保护装置和进线保护装置的 SOE 变位信息，如果二者同时有，则闭锁通道完好。否则，如果馈线有 SOE 而进线没有 SOE，则说明闭锁通道故障，立即告警；

4) 如果进线保护装置总有闭锁开入，则报闭锁通道异常。

### 3 级联保护的实现

#### 3.1 构成

级联保护不设单独的保护装置，而是将其功能设在各个保护装置上（见图 1），在各个保护装置上增加级联保护专用段。专用段有单独的保护定值和压板、单独的出口，不影响保护装置的原有功能。专用段分为快速发信闭锁功能和快速出口功能两部分，所有保护装置均设置快速发信闭锁功能，快速出口功能仅线路保护装置（CSC-211）配置。级联保护可分别通过控制字投退，可选择投入闭锁功能或投入出口功能，也可二者都选择投入。闭锁功能和出口功能共用“级联压板”。

进线处装设的线路保护装置原有功能中的限时速断保护建议投入，作为级联保护的后备保护。

#### 3.2 原理框图

##### 3.2.1 快速出口段

图 2 中，闭锁信号为下级各馈线送来的闭锁触点信号；KG1.1 为级联出口投退控制字。有闭锁信号后，立即闭锁级联保护出口段，并自动展宽 20 ms。

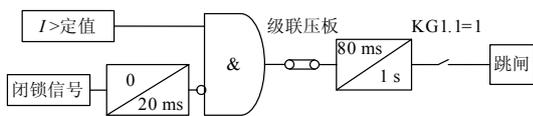


图 2 快速出口段逻辑框图

Fig.2 Logical block diagram of rapid output

##### 3.2.2 快速闭锁段

图 3 中，KG1.2 为级联闭锁段投退控制字。保护启动后，立即发出闭锁信号，并自动展宽 100 ms。如果投入方向元件，逻辑图如图 4。

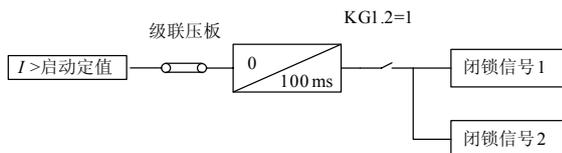


图 3 快速闭锁段逻辑框图

Fig.3 Logical block diagram of rapid blocking

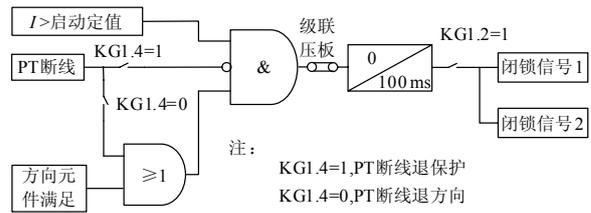


图 4 带方向的闭锁段逻辑框图

Fig.4 Logical block diagram of blocking segment with direction

### 4 整定原则

#### 4.1 进线保护

进线保护投入快速出口功能（KG1.1=1），但不需要投入发信闭锁功能。级联快速出口段的电流定值可按母线短路整定，不需要与下级保护配合，以实现母线故障快速出口的目的。

进线保护装置的原有其他保护基本保持不变。但为了确保母线故障能可靠、快速切除，建议投入一段限时速断作为母线故障的后备保护，并按常规方式整定。

#### 4.2 馈线线路保护

1) 馈线线路如果处于级联的最末端（例如图 1 中的 2612），则其线路保护装置级联专用段只需投入快速发信段（KG1.2=1），不需要投入出口段。级联快速发信段的电流定值应按躲过其连接的母线短路时的最大反馈电流整定。不带方向时建议按速断定值整定，带方向时可按过流定值整定。

2) 馈线线路如果处于级联的中间（例如图 1 中的 612、2601），则需要将快速发信段和出口段都投入。整定原则如下：

出口段电流定值应按躲过下级所连接最大负载的速断电流整定，也可按所连接下级电缆或母线短路时能可靠动作整定。

级联快速发信段的电流定值整定同 1)。

#### 4.3 所用变保护

所用变保护装置的级联专用段只需投入快速发信段（KG1.2=1），不需要投入出口段。级联快速发信段的电流定值应按躲过其连接的母线短路时的最大反馈电流整定。不带方向时建议按速断定值整定，带方向时可按过流定值整定。

#### 4.4 电动机保护

电动机保护装置的级联专用段只需投入快速发信段（KG1.2=1），不需要投入出口段。

级联快速发信段的电流定值应按躲过其连接的母线短路时的最大反馈电流整定。不带方向时建议

（下转第 167 页 continued on page 167）

- 要度分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 77-82.  
ZHANG Pei-chao, GAO Xiang. Analysis of reliability and component importance for all-digital protective systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 77-82.
- [37] 杨增力, 石东源, 段献忠. 基于方向比较原理的广域继电保护系统[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(22): 87-93.  
YANG Zeng-li, SHI Dong-yuan, DUAN Xian-zhong. Wide-area protection system based on direction comparison principle[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(22): 87-93.
- [38] Tan J C, Crossley P A, Kirschen D, et al. An expert system for the backup protection of transmission network[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(2): 508-514.
- [39] 吴科成, 林湘宁, 鲁文军, 等. 分层式电网区域保护系统的原理和实现[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 72-78.  
WU Ke-cheng, LIN Xiang-ning, LU Wen-jun, et al. Principle and realization of the hierarchical region protective system for power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(3): 72-78.
- [40] Giovanini R, Hopkinson K, Coury D V, et al. A primary and backup cooperative protection system based on wide area agents[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(3): 1222-1230.
- [41] Adamia K M G, Apostolov A P, Begovic M M. Wide area protection: technology and infrastructures[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(2): 601-609.
- [42] 陆志峰, 阳少华, 等. 多元件备用系统可靠性计算研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 52-55, 61.  
LU Zhi-feng, YANG Shao-hua, et al. Study on reliability computation for system with multi-component in reserve[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(6): 52-55, 61.

收稿日期: 2009-09-09; 修回日期: 2009-09-29

作者简介:

戴志辉(1980-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为电力系统保护与控制; E-mail: daihuadian@163.com

王增平(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统保护与控制研究。

(上接第 150 页 continued from page 150)

按速断定值整定, 带方向时可按过流定值整定。当采用过流定值时, 须投入方向元件, 方向元件指向电动机为正方向。建议 PT 断线后退出方向元件(如果选择 PT 断线退保护, 则意味着电动机回路故障不发闭锁信号, 级联保护将会误动, 造成整个母线失电), 此时当母线短路时会误闭锁, 可由限时速断保护切除故障。

#### 参考文献

- [1] 熊干儒. 6 kV 厂用母线故障的分析[J]. 华东电力, 1989, 3: 51-52.
- [2] 李沛业. 火力发电厂中低压母线快速保护的应用[J]. 云南电力技术, 2004, 32(3): 47-48
- [3] 贺晓华. 330 MW 发电机组共箱母线故障的分析及对策[J]. 宁夏电力, 2008(3): 31-36.  
HE Xiao-hua. Analysis and countermeasures of common box bus-bar fault of 300 MW power generating unit[J]. Ningxia Electric Power, 2008(3): 31-36.
- [4] 关雨之. 200 MW 机组厂用高压母线短路故障原因及防范措施[J]. 华北电力技术, 1987, 27: 42-43.
- [5] 孟恒信. 发电厂厂用 6 kV 母线装设快速保护的探讨[J]. 电网技术, 1998, 22(3): 75-76.  
MENG Heng-xin. A consideration of equipping 6 kV bus of station service power consumption with fast protective relaying[J]. Power System Technology, 1998, 22(3): 75-76.
- [6] 樊建军, 张景玉, 李硕. 电弧光保护在中低压开关柜和母线保护中的应用[J]. 内蒙古电力技术, 2006, 28(2): 53-55.  
FAN Jian-jun, ZHANG Jing-yu, LI Shuo. Intermediate and low voltage switch cabinet and bus bar protections[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2006, 28(2): 53-55.
- [7] 程颖. 低压母线快速保护实施方案讨论[C].//云南电力技术论坛论文集. 2007.
- [8] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 黄其励, 高元楷, 王世桢, 等. 电力工程师手册 [M]. 电气卷. 北京: 中国电力出版社, 2002.

收稿日期: 2009-09-10; 修回日期: 2009-12-09

作者简介:

董杰(1962-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护设计开发工作; E-mail: dongjie@sf-auto.com

黄生睿(1965-), 男, 本科, 教高, 长期从事火力发电厂电气设计工作;

刘全(1965-), 男, 硕士, 高工, 长期从事继电保护及自动装置的开发、应用工作。