

# 灵宝背靠背直流输电工程直流极保护系统 三取二逻辑功能的实现

蔡子亮<sup>1</sup>, 刘敏<sup>2</sup>, 李天峰<sup>2</sup>

(1. 许昌学院电气信息工程学院, 河南 许昌 461000; 2 许继直流输电系统部, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 直流输电系统保护除了与交流继电保护一样, 能满足快速性、灵敏性、选择性和可靠性的要求, 还必须具有足够高的 RAM (Reliability, Application, maintainability) 指标和冗余化设计。灵宝背靠背直流输电工程许继控制保护系统中直流极保护系统采取了与国内交流继电保护不同的三取二逻辑概念, 对其原理及实现方法进行了阐述, 同时也介绍在西门子不提供技术支持的情况下, 实现运行状态与试验状态的自动转换功能, 并在试验状态下能自动闭锁出口。灵宝背靠背直流输电工程目前已正式投入商业运行, 直流极保护系统经历了工程实际的考验, 验证了三取二逻辑及实现方法的合理性、正确性、有效性。

**关键词:** 直流输电; 直流极保护系统; 三取二逻辑

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897 (2006) 18-0009-03

## 0 引言

灵宝背靠背直流输电工程是第一个“全国产化”的大型直流联网工程, 实现西北 330 kV 电网和华中 550 kV 电网两大交流系统的互联。换流站任何一个部分发生故障, 都会影响整个直流输电系统的稳定运行和设备的安全。直流输电系统保护除了与交流继电保护一样, 能满足快速性、灵敏性、选择性和可靠性的要求, 还应特别注意其抗电磁干扰和抗暂态谐波干扰的性能, 必须具有足够高的 RAM 指标和冗余化设计, 保证在任何运行工况下其所保护的每一设备或区域都能得到正确保护。

随着我国电网的不断发展和全国范围内电力资源的优化配置, 以及西电东送重大工程的建设, 直流输电在我国有着广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。但是直流输电技术水平和国外比较起来, 在一次设备和二次设备的制造水平 and 应用水平上还存在着较大的差距。主要竞争对手是 ABB、西门子等国外著名的电力设备制造商。由于处于技术引进和设备国产化的起步阶段, 而国外著名的电力设备制造商在直流输电领域已经过数十年的投入和经营, 因此和外商相比, 目前无论在产品水平、工程和市场经验、人力资源配备和整体技术实力等方面都存在较大的差距。为尽快提高我国的直流输电技术水平, 加快我国电力网络的建设, 政府投资引进西门子公司和 ABB 公司的直流输电技术, 并在灵宝直流输电工程中加以验证。

鉴于我们引进的技术是德国西门子的直流输电技术, 转让技术中直流保护系统采用三重化冗余配

置, 采用三取二逻辑选择出口的概念。灵宝背靠背直流输电工程直流极保护系统采用了这一原则<sup>[2]</sup>。由于我们引进技术中没有包括三取二逻辑实现的装置, 本文主要介绍灵宝背靠背直流输电工程许继控制保护系统中三重化直流极保护系统三取二逻辑的原理和实现方法, 同时也介绍在西门子不提供技术支持的情况下, 实现运行状态与试验状态的自动转换功能, 并在试验状态下能自动闭锁出口。

## 1 系统结构

灵宝背靠背直流输电工程控制保护系统分为运行人员控制层、控制层、现场处理层三个层次。

直流控制保护系统位于控制层, 是直流输电的核心。保护的目的是要快速切除系统中的短路故障或不正常运行设备, 防止其造成损害或干扰系统其他部分的正常运行, 保证直流系统的安全可靠运行。

在交流系统中, 用继电保护来检测和消除故障, 而在直流系统中发生的故障首先通过对换流器的控制来消除, 有些故障可以通过自身的调节功能来恢复<sup>[3]</sup>。这些控制功能是通过极控系统来实现的。只有在控制调节失去作用, 故障依然存在, 保护才能动作, 快速切除系统中的短路故障或不正常运行设备, 防止其造成损坏或干扰系统其他部分的正常运行。这就要求在所有运行条件和工况下, 直流极保护系统应与直流极控、交流保护之间正确地协调配合, 保护方案应对系统扰动最小或对设备产生应力最小。因此在灵宝背靠背直流输电工程中, 直流极保护系统采用三重化冗余配置, 采用三取二逻辑选

择出口的概念。

如图 1 所示,灵宝背靠背直流输电工程中,直流极保护系统采用三重化冗余配置,由三面直流极保护屏构成。每一重直流极保护系统具有其独立的、完整的硬件配置和软件配置,与其他各重保护之间在物理上和电气上完全独立,任意一重保护因故障、检修或其他原因而完全退出时,不应影响其他各重保护,并对整个系统的正常运行没有影响。考虑到系统的维护性,设计三个直流极保护系统保护功能完全相同,直流极保护系统 1 与直流极保护系统 2 硬件配置完全相同,直流极保护系统 3 与系统 1/2 硬件配置的区别在于没有三取二逻辑选择回路及外部信号输出回路。信号出口采用三取二选择出口的概念,至少两个通道起动保护跳闸,直流保护系统的跳闸信号才能最终执行。

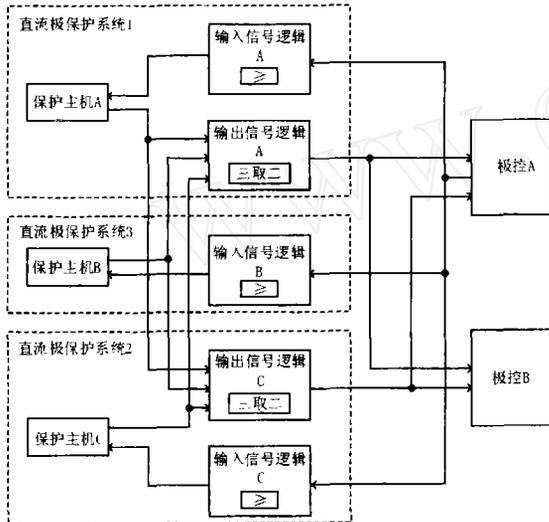


图 1 灵宝背靠背直流输电工程三重化直流极保护系统

Fig 1 Lingbao back to back HVDC project triplicate DC pole protection system

## 2 实现方法

灵宝背靠背直流输电工程中,为实现直流极保护系统的三重化配置,以及实现直流极保护系统与外部系统(包括极控系统、站控系统和交流系统保护)之间的信号交换应在冗余系统之间交叉传递,采取以下实现方法。

### 2.1 数据处理方法

1) 保证每重保护的独立性。每重直流极保护系统具有其各自独立的电源回路,测量互感器的二次线圈,信号输入、输出回路。功能的冗余通过直流

保护软、硬件的三重化实现,三个系统同时运行,对设备提供不间断的保护和监视。

2) 保证三重化的直流极保护系统获得相同的输入信息。对于直流极保护系统所需要的开关量输入信号,采用继电器对信号进行扩展,保证 3 套系统获得相同的输入信息。在模拟量数据采集通道的处理上,通过采用高精度元件保证 3 个采集通道增益精度、温度系数等方面具有较高的一致性。同时在软件中还要对 3 个通道的增益和偏置误差等做进一步补偿和校正,保证 3 套系统所采集的数据接近完全一致。

### 2.2 硬件特点

灵宝背靠背直流输电工程中,直流极保护系统所完成的各种功能是在高速工业控制保护系统硬件平台上实现的。这是一个高性能、模块化的数字多处理系统,不仅用于直流输电,还广泛地用于过程控制和自动化以及驱动控制领域,是一种通用的工业控制系统平台,技术非常成熟。以多个主处理器并行处理的方式完成控制或保护功能的实现,运算速度非常快,使得直流输电系统复杂的任务由几个处理器模块分别处理,使复杂的任务简单化,提高系统运行的可靠性。通过两条并行总线,各个处理器模块在并行、快速的处理保护系统任务的同时,又可以通过双并行总线实时刷新从其他处理器模块传送的实时数据,使系统的处理速度加快,从而保证了对整个直流输电系统的直流场设备的保护。

### 2.3 三取二逻辑的实现方法

灵宝背靠背直流输电工程中的极控系统、站控、交流系统保护采用双重化配置,所以三重化直流极保护与双重化外部系统的信号交换通道采用双重化配置<sup>[4]</sup>。所以只在保护系统 1/2 上配置三取二逻辑功能。三重化直流极保护系统到外部系统的信号按三取二逻辑进行出口表决输出到外部信号,三取二逻辑功能由三取二输出选择逻辑和系统状态判断逻辑完成。根据系统电源、硬件、软件、系统运行状态是否正常的状态信号,来判断系统是否正常(即 OK)。3 套系统的状态决定到外部系统的信号是按三取二逻辑进行出口表决输出,还是自动切换到一对一输出。整个直流极保护系统输出选择逻辑如图 2 所示。

图 2 中所示的出口信号表决逻辑功能采用专用的三取二逻辑模块来完成,模块采用传统的 TTL 电路实现,信号延迟时间小于  $80 \mu s$ 。针对 3 套系统的运行状态,对输出信号进行逻辑选择。

当 3 套系统运行状态开关处于运行状态,系统

状态均为 OK,信号出口采用三取二逻辑选择出口的概念,至少两个通道起动保护跳闸,直流极保护系统的跳闸信号才能最终执行。

当 3 套系统中任一系统运行状态出现问题,即一个直流极保护系统内部故障时,系统自动转为试验状态。故障系统的保护出口自动闭锁,其他重直流极保护系统信号出口自动切换到一对一选择。使被保护设备不失去保护性,整个系统可靠、连续、安全运行。

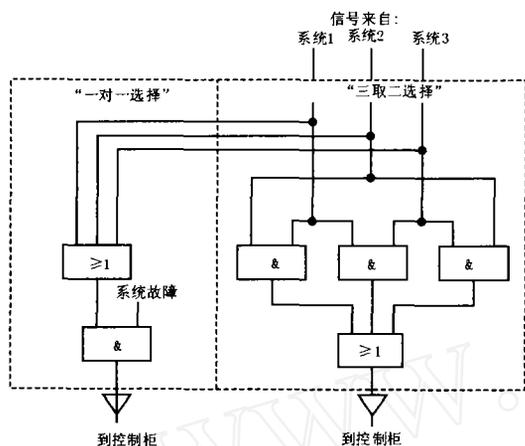


图 2 三取二选择逻辑

Fig 2 Selecting 2 from 3 logic

当系统处于正常运行状态,需对某一系统进行检修和故障检查时,可以通过面板上系统运行状态开关对保护系统进行手动选择,将运行状态开关旋转到试验状态,自动闭锁本保护系统的信号出口回路,三取二逻辑选择自动切换到一对一选择,其他各重保护正常工作,对整个系统的正常运行没有影响。

### 3 系统状态判断逻辑

保护软件具有完善的自检功能,对内存、输入、输出、通讯通道、机箱的备用电池循环地进行检测,如果出现故障,将发出系统软件故障、系统软件告警信息给系统状态判断逻辑。同时检测到的故障信息可以在相应处理器模块的数码显示管上用故障代码显示出来,并产生 SER (Sequence of Events Recorder) 信息通过现场总线上上传极控系统,再通过极控经局域网 (LAN) 送到运行人员控制层显示。通知运行人员注意,对某异常系统进行检修和故障检查。系统状态判断逻辑针对接受到的各种状态信息 (系统电源、硬件、软件、系统运行状态),进行异常程度判别与分类,异常程度不影响保护系统的运行,系统状态判断逻辑只发出告警信息送到运行人员控制

层。当异常程度严重时,系统状态判断逻辑发出系统故障信息到运行人员控制层,同时送系统状态不 OK 信息到三取二逻辑回路,LFM (Logic Function Module) 模块自动闭锁故障系统的保护出口,并将故障系统自动转为试验状态,三取二逻辑选择自动切换到一对一选择。其他各重保护信号出口将不再经三取二逻辑选择进行出口表决。

### 4 结语

直流输电系统包括换流装置、直流输电线路和换流站的交流部分。任何一个部分发生故障,都会影响整个直流输电系统的稳定运行和设备的安全。因此提供完善、可靠的保护来保证在任何运行工况下其所保护的每一设备或区域都能得到正确保护显得尤为重要。本文描述了灵宝背靠背直流输电工程中许继直流保护系统三取二逻辑功能的设计原理和实现方法,从而保证了直流保护系统满足快速性、灵敏性、选择性和可靠性的要求,使直流系统安全可靠运行。

### 参考文献:

- [1] 谭恢曾. 直流输电古今谈 [J]. 湖南电力, 2001, 21 (4): 59-60.  
TAN Hui-zeng Comments of DC Transmission System History [J]. Hunan Electric Power, 2001, 21 (4): 59-60.
- [2] 叶廷路. 葛南直流输电系统的运行与控制 [J]. 电网技术, 1994, 18 (1): 20-25.  
YE Ting-lu Ge-Nan HVDC Transmission System Running and Control [J]. Power System Technology, 1994, 18 (1): 20-25.
- [3] 陈红军. 高压直流输电系统故障及控制策略 [J]. 华中电力, 2001, 14 (5): 5-8.  
CHEN Hong-jun HVDC Transmission System Faults and Its Control Tactics [J]. Central China Electric Power, 2001, 14 (5): 5-8.
- [4] SEMENS Pole Protection Maintenance Manual [Z]. 2002

收稿日期: 2006-05-30; 修回日期: 2006-06-15

作者简介:

蔡子亮 (1965 - ) 男, 副教授, 从事电路与系统研究工作;

刘敏 (1968 - ) 女, 高级工程师, 从事直流输电控制保护系统研制工作; E-mail: minl@xjgc.com

李天峰 (1968 - ) 男, 高级工程师, 从事直流输电控制保护系统研制工作。

(下转第 30 页 continued on page 30)

- X DNG Xin-yin, ZHANG Bu-han Power System Foundation Engineering [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002
- [2] 邵文权. 变电站电压无功综合控制技术综述 [J]. 西北电力技术, 2005.
- SHAO Wen-quan Transformer Substation Voltage and Reactive Power Combination Control Outline [J]. Northwest of China Power Technology, 2005.
- [3] Bie Z H. Integration of Algorithmic and Heuristic Techniques for Transition-optimised Voltage and Reactive Power Control [J]. IEEE Proceedings on Gener, Transm and Distrib, 2006.
- [4] 陈珩. 电力系统稳态分析 (第二版) [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- CHEN Heng Power System Steady State Analysis, Second Edition [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.
- [5] 除玉琦. 工厂电气设备经济运行 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- CHU Yu-qi Plant Electric Facility Economical Operation [M]. Beijing: China Machine Press, 1998
- [6] 孙增圻. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- SUN Zeng-qi Intelligent Control Theory and Technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [7] 李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- LI Guo-yong Intelligent Control and MATLAB Realization [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

收稿日期: 2006-04-19; 修回日期: 2006-05-29

作者简介:

吴 侗 (1975 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为模糊控制, 电力系统运行监测与控制; E-mail: wut001@163.com

李医民 (1963 - ), 男, 副教授, 研究方向为生物数学、模糊控制、容错控制。

### Fuzzy control study of comprehensive adjustment for substation reactive voltage

WU Tong, LI Yin in

(Science College, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** This paper presents a fuzzy control method based on the combination control of the compensator capacitor banks and the load tap changer (OLTC) main transformer furnished in large-scale electric substation. It establishes the model with reactive power and voltage parameters based on the combination control of the compensator capacitor banks and the OLTC main transformer furnished in large-scale electric substation to test the fuzzy control system. In the control system, the change of voltage and power-factor are fuzzified as the input variable and the OLTC and the capacitor banks are controlled by the output signal which is calculated after fuzzy inference and defuzzifying. The result proves its stability and validity by simulation which combined with the realized substation parameters.

This project is supported by Key Project of National Natural Science Foundation of China (No. 60234010).

**Key words:** fuzzy control; OLTC; reactive power and voltage control; substation

(上接第 11 页 continued from page 11)

### Realization of selecting 2 from 3 logic in DC pole protection system for Lingbao back-to-back HVDC transmission project

CAI Zi-liang<sup>1</sup>, LU Min<sup>2</sup>, LI Tian-feng<sup>2</sup>

(1. Xuchang University, Xuchang 461000, China; 2. XJ DC Transmission Dept, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** HVDC system must fulfil these requirements of speediness, selectivity, and reliability as AC protection system, Lingbao back-to-back HVDC project DC protection system adopts logic concept about selecting 2 from 3, it is different from AC protection system in China. The logic about selecting 2 from 3 and the implement way are introduced. Without the techniques support from Siemens, this paper realizes the auto converse function of run state and test state, which can block signal output in the state of test automatically. Lingbao back-to-back HVDC project has now been test run, so the DC pole protection system has been tested and proved usefully in practice. The result indicates that the logic about selecting 2 from 3 and the implement way are designed successfully.

**Key words:** DC transmission; DC pole protection system; selecting 2 from 3