

一种新型三取二逻辑装置及配置策略在高岭背靠背 扩建工程中的应用

吴庆范, 黄金海, 张爱玲, 周仁伟, 刘翼, 田培涛

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 基于可靠性和经济性的综合考虑, 直流输电工程中的直流保护系统普遍采用三重化配置, 输出方式采用三取二逻辑, 三取二装置实现三取二逻辑判断并输出动作信号功能, 对三取二逻辑装置及配置策略进行分析和研究具有重要意义。对以往工程中的三取二装置及配置策略进行了分析和研究, 然后提出了一种新型三取二装置的设计方法, 采用控制总线传输及FPGA逻辑处理方法, 提高了其可靠性。将三取二逻辑配置在冗余的三取二装置中, 同时在冗余的极控系统中进行相同的配置, 大大提高了直流保护系统的可靠性和可用性。高岭背靠背扩建工程首次采用此新型三取二逻辑装置及配置策略, 直流保护系统在投运后一直安全稳定运行, 新型的三取二装置及其配置策略顺利通过了现场复杂环境的考验, 验证了其安全性和可靠性, 为以后新工程中直流保护系统的相关设计提供了有益的参考。

关键词: 三重化; 三取二逻辑; 冗余; 背靠背; 直流保护; 策略; 可靠性

A new device with “selecting 2 from 3” logic and its configuration strategy applied in Gaoling back-to-back II project

WU Qing-fan, HUANG Jin-hai, ZHANG Ai-ling, ZHOU Ren-wei, LIU Yi, TIAN Pei-tao

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Based on comprehensive consideration of the reliability and economy, DC protection system commonly uses triplicate configuration in the HVDC transmission project and the output mode adopts “selecting 2 from 3” logic. The “selecting 2 from 3” devices achieve “selecting 2 from 3” logic judgment and output action signals, which is important to the analysis and research of “selecting 2 from 3” logic device and its configuration strategy. This paper analyzes the “selecting 2 from 3” device and its configuration strategy in previous project, and then proposes a new design of “selecting 2 from 3” device. It adopts control bus transfer and FPGA logic processing methods, which improves the reliability of the devices and configures “selecting 2 from 3” logic in redundant “selecting 2 from 3” devices as well as in redundant pole control systems, which greatly improves the reliability and usability of DC protection system. The new device with “selecting 2 from 3” logic and its configuration strategy is applied in Gaoling back-to-back II project for the first time. DC protection system has been operating safely and stably. The new device of “selecting 2 from 3” logic and its configuration strategy has successfully passed the test of complex environment in the field, which verifies its security and reliability. It provides a useful reference for the relevant design of DC protection system in new project.

Key words: triplicate; “selecting 2 from 3” logic; redundant; back-to-back; DC protection; strategy; reliability

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)02-0121-06

0 引言

高岭背靠背换流站工程于2008年11月25日正式投入运行, 实现了东北电网与华北电网的直流背靠背联网。换流站分为两个单元, 每个单元输送容量为750 MW。该工程的控制保护系统采用许继电气公司的HCM200系统^[1-6]。

高岭背靠背换流站扩建工程新增两个换流单元, 每个换流单元的额定容量为750 MW, 基于高岭工程I期的成功实施, 高岭扩建工程的控制保护系统采用许继电气公司完全自主开发的HCM3000平台, 于2012年11月6日成功建成投运, 投运后, 东北—华北(高岭)直流背靠背工程整体输送能力达到300万kW, 为世界之最, 东北电网与华北电

网的网架联系进一步加强。

高岭背靠背扩建工程首次采用 HCM3000 平台，基于此平台开发了一种新型的三取二装置，新装置与传统的三取二装置相比，在设计、功能及可靠性等方面有很多新优点，在详细分析新型三取二逻辑装置之前首先分析研究传统的三取二装置。

1 传统三取二装置功能特点分析

传统的三取二装置一般配置在三重化直流保护系统中两面屏内，且把三取二装置作为直流保护屏的内部器件，即三取二装置的故障信号串入整个保护屏的系统正常信号中，其在直流保护系统中的配置如图 1 所示。

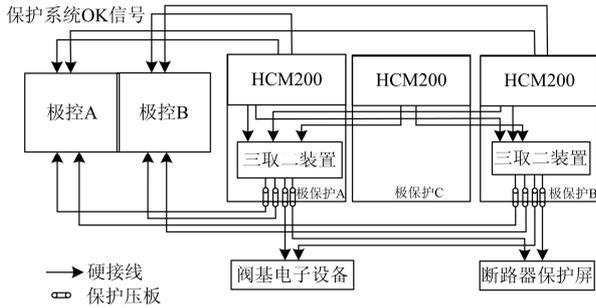


图 1 传统三取二装置在直流保护系统中的示意图

Fig. 1 Diagram of traditional “selecting 2 from 3” device in DC protection system

如图 1，三取二装置接收直流保护屏 A、B、C 屏传输的保护动作信号，其传输方式为 24 V 直流电压信号通过硬接线传输，同时通过硬接线接收三面屏的系统 OK 信号，进行三取二逻辑判断，如果一套保护系统不 OK 时，三取二自动切换到二取一逻辑，然后输出保护动作信号，驱动继电器输出信号到极控系统、断路器保护屏或阀基电子设备，并在其硬接线输出信号中串入保护压板，以方便检修。

每块三取二装置的内部逻辑如图 2 所示。

由以上的分析可知传统三取二装置具有以下特点：

- 1) 三取二逻辑由硬件实现，输入、输出信号的传输方式皆为硬接线。
- 2) 输入、输出信号的内容皆为保护动作信号。
- 3) 由于每一块三取二装置只能处理两种动作信号，加上备用的需求，常规的工程一般需要十几块三取二装置，且装置的每种输出信号需要驱动多个继电器以通过硬接线传给冗余的极控系统和故障录波屏，造成系统硬接线繁多、结构较为复杂。
- 4) 由于三取二装置的 OK 信号串入极保护系统

OK 中，所以当极控屏收到直流保护屏 A、B 的系统 OK 信号消失时，即使直流保护屏 C 是正常的，也将停运直流系统。

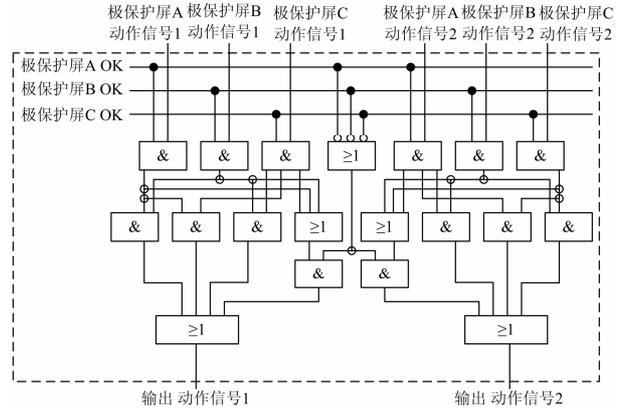


图 2 传统三取二装置的内部逻辑图

Fig. 2 Internal logic diagram of traditional “selecting 2 from 3” device

2 新型三取二装置的实现方法和优点

本文提出的新型三取二逻辑装置及配置策略是整个直流极保护系统的一部分，首先分析基于 HCM3000 平台的直流保护系统的整体结构^[7-9]。

2.1 直流极保护系统整体结构

直流极保护系统采用三重化的冗余结构，每重保护屏的测量回路完全独立，保护功能完全相同，三重化的直流极保护通过双重化的“三取二”逻辑出口，如图 3 所示。

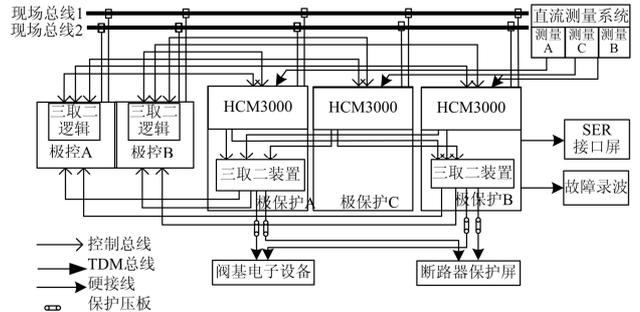


图 3 基于 HCM3000 平台的直流保护系统整体结构示意图

Fig. 3 DC protection system configuration overview based on HCM3000 platform

每重保护主机配置测量板卡负责收集测量信号，通过 TDM 总线送至 HCM3000 中的 CPU 板卡进行保护逻辑判断，保护功能信号通过控制总线传至三取二装置，由三取二装置输出动作信号，快速清除区域内的故障或不正常工况，保证直流系统的安全运行。

保护系统具有完善的自监测能力，自监测功能

区分不同的故障程度和发展趋势, 对于不严重的、不影响自身和其他系统正确执行功能的故障给出报警, 对严重故障或紧急故障闭锁该系统的输出, 系统发出报警并自动转为测试状态。

所有的自监测报警事件和保护动作事件通过冗余的现场总线 ProfiBus DP 上传至极控系统, 然后由极控系统的 LAN 网上传至运行人员控制系统。

2.2 三取二逻辑配置策略

在传统三取二逻辑配置策略下, 直流保护系统由冗余的两套三取二逻辑装置进行三取二逻辑判

断, 如果两套三取二逻辑装置本身同时发生故障, 将导致直流保护系统不能提供正确的动作出口, 直流输电系统必须停运。

为了最大限度地避免不必要的停机, 高岭背靠背扩建工程除了配置冗余的两套三取二逻辑装置外, 在冗余的极控系统中提供软件的三取二逻辑功能作为备用, 此功能只有在两套三取二逻辑装置都故障的情况下且至少一套保护系统 OK 的情况下才有效。直流保护系统的三取二逻辑装置和极控系统软件三取二逻辑的处理逻辑图如图 4 所示。

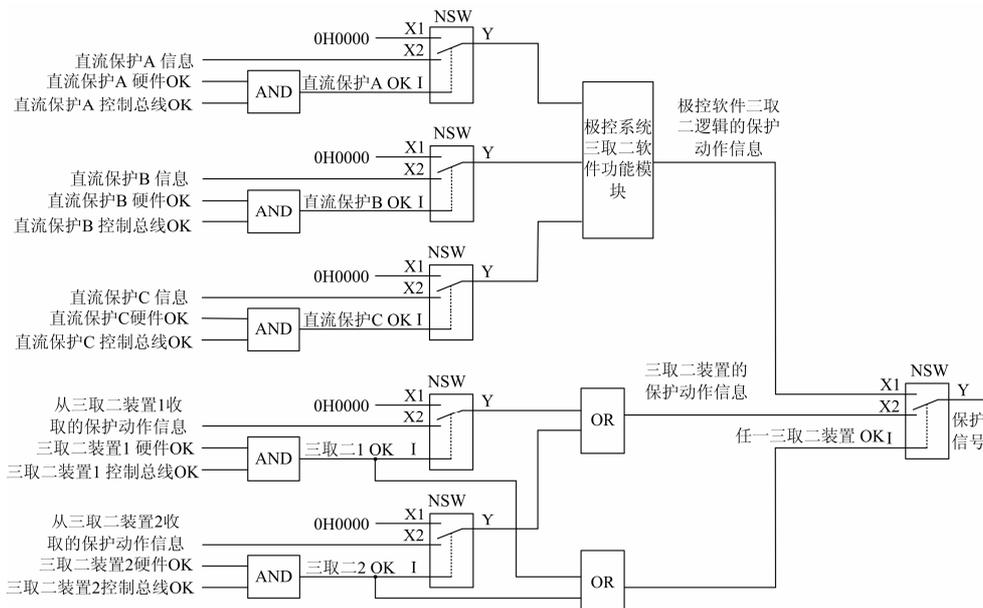


图 4 选择三取二逻辑输出信号示意图

Fig. 4 Output signal of “selecting 2 from 3” logic

2.3 新型三取二装置的设计方案

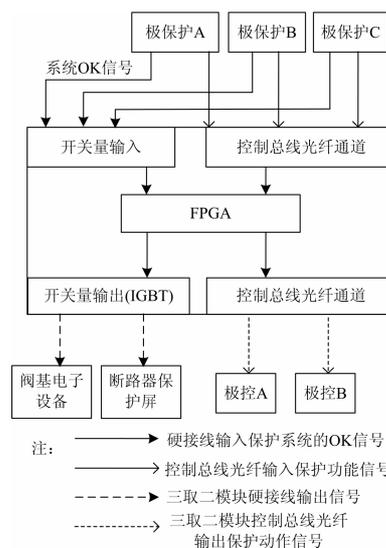
下面详细分析阐述新型三取二装置的实施方案, 其整体设计结构如图 5 所示。

三取二装置首先通过控制总线光纤输入板卡接收三套保护系统的保护功能动作信号, 并通过开关量输入板卡接收保护系统的 OK 信号, 然后由 FPGA 首先进行三取二逻辑处理, 然后按照协议输出保护动作信号, 通过控制总线光纤输出板卡输出到极控系统, 并由内置的快速可控关断元件 IGBT 输出封 VBE 信号和跳交流断路器信号。

根据以上分析可知新型三取二装置具有以下特点及优点。

1) 三取二逻辑由软件实现, 输入、输出信号的方式主要为高速控制总线, 速度快、抗干扰能力强, 系统整体结构清晰。

2) 三取二装置的输入信号为保护功能信号, 在对保护功能信号进行三取二逻辑后, 按照协议输



注: 实线箭头表示硬接线输入保护系统的OK信号; 虚线箭头表示控制总线光纤输入保护功能信号; 点划线箭头表示三取二模块硬接线输出信号; 点线箭头表示三取二模块控制总线光纤输出保护动作信号

图 5 新型三取二装置设计图

Fig. 5 Design diagram of new “selecting 2 from 3” device

出保护功能对应的动作信号。

3) 由于三取二装置具有独立自监测信号, 与直流保护系统屏的 OK 信号无关, 所以当极控系统收到直流保护系统任意两面屏同时发生故障时, 将不会停运直流系统, 只有三面保护屏同时故障时, 极控系统才闭锁系统, 提高了直流保护系统的可用性。

4) 如果两套三取二装置本身同时发生故障时, 极控系统自动切换到配置在极控系统软件中的三取二逻辑功能, 极控中配置的软件三取二功能与三取二装置功能完全相同, 由极控系统完成保护出口逻辑判断, 最大限度地避免了由于保护设备本身的故障导致的系统停运。

3 三取二装置及配置策略改进后的效果分析

3.1 三取二装置改进后的效果分析

通过以上的分析研究, 两种三取二装置的主要功能特点如表 1 所示。

表 1 两种三取二装置主要特点对比

Table 1 Feature comparison between two kinds of “selecting 2 from 3” devices

	传统三取二装置	新型三取二装置
信号传输方式	硬接线	控制总线、硬接线
信号内容	输入和输出信号皆为保护动作信号	输入信号为保护功能信号, 输出信号为保护动作信号
逻辑功能	三取二逻辑功能	三取二逻辑功能及根据不同的保护功能信号输出不同的保护动作信号
独立性	三取二装置作为直流保护系统的一个内部元件	三取二装置在电气上完全独立
整体系统可靠性	当两套直流保护系统同时故障或两套三取二装置同时故障时, 系统停运	仅当三套直流保护系统同时故障时, 系统停运
系统结构	接线繁多、结构复杂	接线简单、结构清晰

通过对比可知, 新型三取二装置在各方面都比传统三取二装置具有明显的优势。

3.2 三取二逻辑配置策略改进后的效果分析

新型三取二逻辑配置策略在不增加硬件的基础上, 在冗余的极控系统中配置了两套软件三取二逻辑, 在成本方面没有影响。

在负荷率方面, 经实际测试对保护系统基本没有影响, 增加 0.2%, 总负荷为 30.4%, 对极控系统的负荷率增加 20%, 总负荷约为 50%, 都符合国家电网相关要求。

对停运概率的影响, 下面从可靠性方面进行详细分析^[10-11], 传统、新型三取二逻辑配置示意图如图 6、图 7 所示。

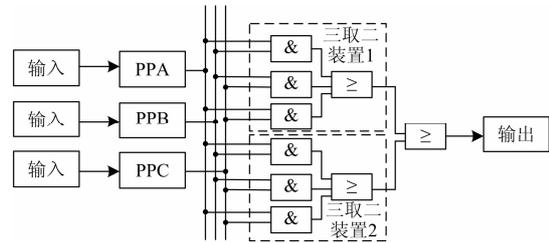


图 6 传统三取二逻辑配置示意图

Fig. 6 Diagram of traditional “selecting 2 from 3” logic

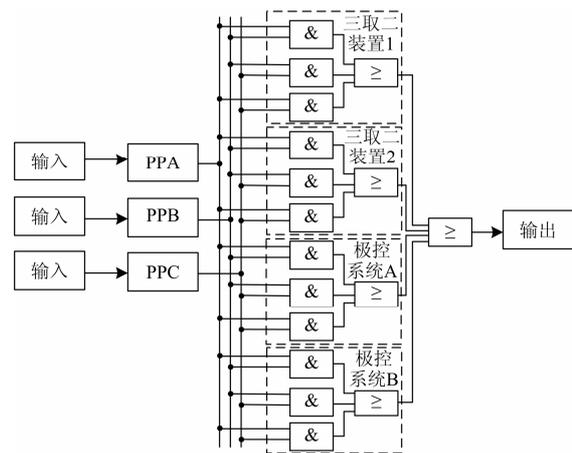


图 7 新型三取二逻辑配置示意图

Fig. 7 Diagram of new “selecting 2 from 3” logic

其中 PPA、PPB、PPC 分别为三重化的直流保护系统, 假设其可靠性分别为: R_1 、 R_2 、 R_3 , 三取二装置 1、2 及极控系统 A、B 中三取二逻辑的可靠性分别为 R_{m1} 、 R_{m2} 、 R_{m3} 、 R_{m4} , 根据可靠性原理可得两种配置策略下可靠性分析模型, 如图 8、图 9 所示。

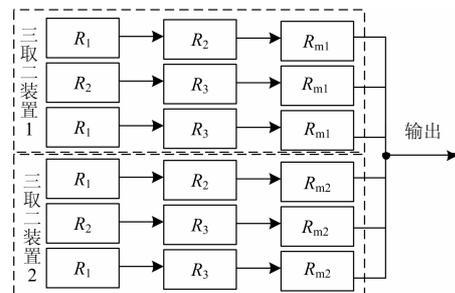


图 8 传统三取二逻辑配置的可靠性分析模型

Fig. 8 Reliability analysis model of traditional “selecting 2 from 3” logic configuration

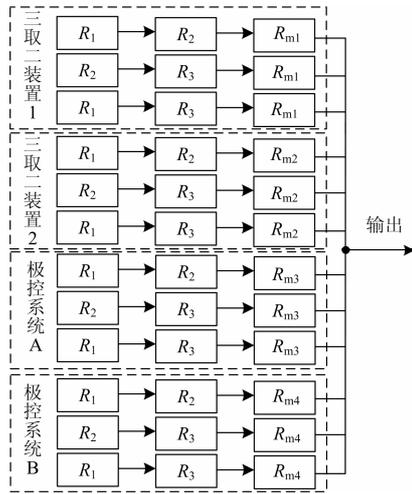


图 9 新型三取二逻辑配置的可靠性分析模型

Fig. 9 Reliability analysis model of traditional “selecting 2 from 3” logic configuration

根据图 8、图 9 可靠性分析模型及串、并联系统可靠性计算公式，首先计算传统三取二逻辑配置的可靠性 R_T 为

$$R_T = 1 - [(1 - R_1 R_2 R_{m1})(1 - R_2 R_3 R_{m1}) \cdot (1 - R_1 R_3 R_{m1})(1 - R_1 R_2 R_{m2}) \cdot (1 - R_2 R_3 R_{m2})(1 - R_1 R_3 R_{m2})] \quad (1)$$

假设 $R_1=R_2=R_3=R_{m1}=R_{m2}=R$ ，则式 (1) 可简化为

$$R_T = 1 - (1 - R^3)^6 \quad (2)$$

同理，可计算新型三取二逻辑配置的可靠性 R_N 为

$$R_N = 1 - [(1 - R_1 R_2 R_{m1})(1 - R_2 R_3 R_{m1}) \cdot (1 - R_1 R_3 R_{m1})(1 - R_1 R_2 R_{m2}) \cdot (1 - R_2 R_3 R_{m2})(1 - R_1 R_3 R_{m2}) \cdot (1 - R_1 R_2 R_{m3})(1 - R_2 R_3 R_{m3}) \cdot (1 - R_1 R_3 R_{m3})(1 - R_1 R_2 R_{m4}) \cdot (1 - R_2 R_3 R_{m4})(1 - R_1 R_3 R_{m4})] \quad (3)$$

假设 $R_1=R_2=R_3=R_{m1}=R_{m2}=R_{m3}=R_{m4}=R$ ，则式 (3) 可简化为

$$R_N = 1 - (1 - R^3)^{12} \quad (4)$$

根据式 (2)、式 (4) 得到两者的可靠性曲线图，如图 10 所示。

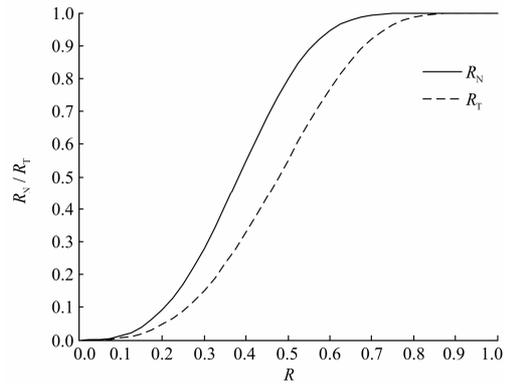


图 10 三取二逻辑配置的可靠性比较

Fig. 10 Reliability comparison of “selecting 2 from 3” logic configuration

通过图 10，可明显看出，新型的三取二逻辑配置策略的可靠性远高于传统三取二逻辑配置。

根据式 (2)、式 (4) 得到两者的可靠性具体数值，如表 2 所示。

表 2 三取二逻辑配置的可靠性数值

Table 2 Reliability values of “selecting 2 from 3” logic configuration

R	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
R_T	0.006	0.047	0.152	0.328	0.551	0.768	0.919	0.986	0.999 6	1
R_N	0.012	0.092	0.280	0.548	0.798	0.946	0.993	0.999	1.000	1
$R_N - R_T$	0.006	0.005	0.128	0.220	0.247	0.178	0.074	0.013	0.000 4	0

通过以上分析可知，新型三取二装置及配置策略的改进效果在可靠性、可用性、系统结构及成本等方面都有极大的提高，负荷率也满足国家电网要求。经过在现场近一年的安全稳定运行，验证了新型三取二逻辑装置及配置策略的正确性。

4 总结

本文分析了传统三取二装置的技术特点，然后重点阐述了一种新型三取二装置的设计方案及在高

岭背靠背扩建工程中的实际应用策略，主要包括：基于 HCM3000 平台的直流保护系统整体结构、优化的三取二出口逻辑配置策略和新型三取二装置的具体实施方案。通过本文的介绍可以加深了解两种三取二装置的特点，特别是新型三取二装置的特点及三取二出口逻辑配置策略的优点，能够提高现场运行检修人员对直流系统的维护和运行的能力，并为其他新工程中直流保护系统的设计提供有益的参考。

参考文献

- [1] 徐海军, 阮思烨, 吕鹏飞. 高岭背靠背直流 50 Hz 和 100Hz 保护动作分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 54-57.
XU Hai-jun, RUAN Si-ye, Lü Peng-fei. Study of 50 Hz and 100Hz protection in Gaoling back-to-back HVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 54-57.
- [2] 张望, 黄利军, 郝俊芳, 等. 高压直流输电控制保护系统的冗余设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 88-91.
ZHANG Wang, HUANG Li-jun, HAO Jun-fang, et al. Redundant design of control and protection system for HVDC transmission[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 88-91.
- [3] 张爱玲. 溪洛渡送广东同塔双回直流输电工程控制保护策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 72-76.
ZHANG Ai-ling. Study of control and protection strategies for Xiluodu-Guangdong double HVDC systems erected on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(9): 72-76.
- [4] 王峰, 徐政, 黄莹, 等. 高压直流输电主回路稳态参数计算[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 135-140.
WANG Feng, XU Zheng, HUANG Ying, et al. Calculation of main circuit parameters for HVDC transmission[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 135-140.
- [5] 孙海峰, 崔翔, 齐磊, 等. 高压直流换流阀器件高频建模[J]. 电工技术学报, 2009, 24(11): 142-148.
SUN Hai-feng, CUI Xiang, QI Lei, et al. High-frequency modeling of valve components in high voltage direct current converter stations[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(11): 142-148.
- [6] 谢开贵, 吴韬, 黄莹, 等. 基于二分法的高压直流输电系统可靠性最优分解[J]. 电工技术学报, 2010, 25(5): 149-154.
XIE Kai-gui, WU Tao, HUANG Ying, et al. High-frequency modeling of valve components in high voltage direct current converter stations[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(5): 149-154.
- [7] 吴庆范, 黄金海, 张爱玲, 等. 基于 HCM3000 平台的高岭扩建工程直流极保护系统实施策略[J]. 东北电力技术, 2012, 33(10): 35-40.
WU Qing-fan, HUANG Jin-hai, ZHANG Ai-ling, et al. DC protection system implementation strategy of Gaoling II project based on HCM3000 platform[J]. Northeast Electric Power Technology, 2012, 33(10): 35-40.
- [8] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 1-18.
ZHAO Wan-jun. HVDC transmission engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004: 1-18.
- [9] 高岭背靠背扩建工程直流极保护系统设计规范书[S].
- [10] 李延龙, 杨亚璞, 李楠. 高压直流输电控制保护系统的冗余可靠性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(16): 59-62.
LI Yan-long, YANG Ya-fu, LI Nan. Reliability research for HVDC transmission control and protection system redundancy[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(16): 59-62.
- [11] 王明新. 葛南高压直流输电系统控制和保护设备运行状况评估[J]. 电力设备, 2003, 4(3): 28-32.
WANG Ming-xin. Investigation and evaluation of operation condition for control and protection equipments in Ge-nan HVDC transmission system[J]. Electrical Equipment, 2003, 4(3): 28-32.

收稿日期: 2013-05-14; 修回日期: 2013-06-19

作者简介:

吴庆范(1982-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事高压直流输电直流保护系统研究; E-mail: wuqingfan@xjgc.com

黄金海(1975-), 男, 高级工程师, 从事高压直流输电保护软件设计及研究;

张爱玲(1968-), 女, 教授级高工, 长期从事高压直流输电控制保护系统的设备开发和工程。