

永仁-富宁直流工程三种功率输送方式自动转换顺序控制及影响分析

刘毅力¹, 贾轩涛², 戴国安², 张爱玲², 孔令凯², 周玉勇², 刘旭辉²

(1. 西安工程大学电子信息学院, 陕西 西安 710048; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 在直流输电领域, 逆变站可以将直流功率直接输送到不同的异步电网, 目前的直流控制保护功能无法满足这种新的功率输送模式。针对不同的功率输送模式, 控制系统必须具备自动判别和顺序控制功能, 并选择正确的无功控制等逻辑, 这对直流系统的稳定运行至关重要。为此, 基于直流系统的运行工况和逆变站交流场开关配置, 系统分析了不同功率输送模式间自动转换的原理、过程和联锁条件, 研究了在直流解锁工况下进行在线转换时对无功控制、最后断路器/线路保护、交流母线过电压保护的影响。研发的技术、设计的直流控制保护逻辑对今后的类似工程具有参考价值。

关键词: 永富直流工程; 功率传输模式; 无功控制; 顺序控制; 自动转换

Analysis of auto-sequence control and influence of three power transmission modes in Yongren-Funing HVDC Project

LIU Yili¹, JIA Xuanta², DAI Guoan², ZHANG Ailing², KONG Lingkai², ZHOU Yuyong², LIU Xuhui²

(1. School of Electronics and Information, Xian Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

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

Abstract: In the field of HVDC transmission, DC power can be transmitted to different AC asynchronous electrical network. The present DC control and protection function can not fulfil the new power transmission mode; based on different modes, new functions should be added in control and protection systems, such as RPC selecting logic, etc. And it's important to HVDC transmission stable operation. As a result, based on the working condition of DC system and the configration of AC switch yard at inverter station, the auto-switch-over theory of different DC power transmission modes and the process and interlocking are analyzed; the influence on reactive power control, last line/last circuit breaker, and the AC busbar over voltage are researched. The technology of research, and the design logic has reference value for the similar projects.

Key words: Yongfu HVDC project; power transmission mode; reactive power control; sequence control; auto switchover

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)13-0139-08

0 引言

永仁-富宁±500 kV直流输电工程(永富直流工程)是云南省观音岩水电站送出工程, 送端起点在云南省楚雄州永仁换流站, 受端落点在云南省文山州富宁换流站。永富工程已于2014年8月开工建设, 计划2016年6月底建成投运, 直流额定输送功率3000 MW。

永富工程逆变站富宁换流站 500 kV 交流场与以往所有直流工程相比, 配置较为特殊, 分为三种运行方式: 方式1, 直流功率“全送广西”; 方式2,

直流功率“全送云南”; 方式3, 直流功率“极1送广西, 极2送云南”。

三种方式的转换可以通过顺序控制实现, 自动顺序控制在直流输电工程中有着广泛的应用, 能够保证换流站内开关的安全、可靠操作和输电系统的平稳起停, 以及各种控制方式与开关场接线方式之间的平稳切换^[1-3]。针对这三种不同运行方式对直流控制保护的影响, 从无功控制、直流控制模式、最后断路器保护、顺序控制等方面进行了详细的研究分析。

1 直流输送功率三种运行方式的实现

1.1 富宁站 500 kV 交流场配置

富宁站 500 kV 交流场主接线如图 1 所示, 500 kV 交流出线共有四回, 分别接入两个异步电网, 其中砚山 1、砚山 2 以及 4 回备用出线接入云南电网, 靖西 1、靖西 2 接入广西电网; 极 1 换流变进线由第一串引出, 极 2 换流变进线由第四串引出; 全站共配置了 4 大组交流滤波器, 分别接至交

流场第二、三、四、五串。

永富直流工程与以往直流工程相比, 最大的不同之处是在逆变站(即富宁站)500 kV 交流场增加了特殊的开关配置, 在交流母线 1 M 和 2 M 上分别安装两个断路器, 在接入广西电网的两条出线上分别安装两个隔离刀。通过对 1#、2#、3#、4#断路器及 1#、2#隔离开关的操作, 即可实现三种不同的运行方式, 即功率“全送广西”、功率“全送云南”、功率“极 1 送广西, 极 2 送云南”。

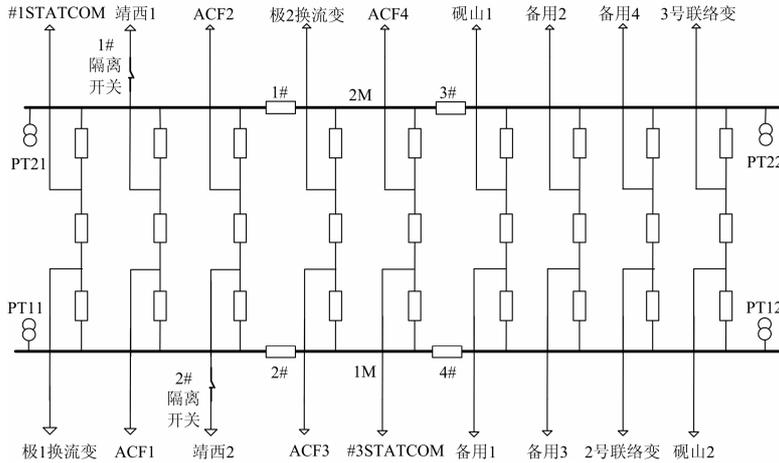


图 1 富宁换流站 500 kV 交流场配置

Fig. 1 Configuration of 500 kV AC yard in Funing converter station

1.2 功率“全送广西”运行方式的实现

直流系统在功率全部输送广西方式下运行时, 交流场 1#、2#、3#、4#断路器及 1#、2#隔离开关的位置状态如图 2 所示。

1.3 功率“全送云南”运行方式的实现

直流系统在功率全部输送云南方式下运行时, 交流场 1#、2#、3#、4#断路器及 1#、2#隔离开关的位置状态如图 3 所示。

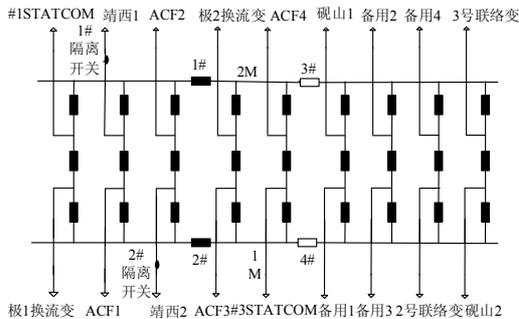


图 2 功率全送广西方式下交流场配置

Fig. 2 Configuration of AC yard based on All Power to Guangxi

功率“全送广西”方式运行时, 1#、2#母线断路器合位、3#、4#母线断路器分位、1#、2#隔离开关合位。

正常情况下在方式一运行时, 500 kV 交流场一、二、三、四、五串接入广西电网, 所有无功设备均可投入运行, 直流功率可从极 1、极 2 通过靖西 1、靖西 2 两条出线全部输送到广西。

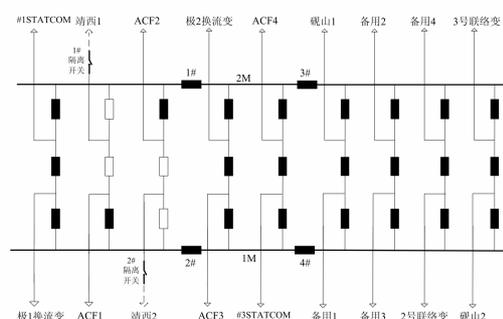


图 3 功率全送云南方式下交流场配置

Fig. 3 Configuration of AC yard based on all power to Yunnan

功率“全送云南”方式运行时, 1#、2#、3#、4#母线断路器合位、1#、2#隔离开关分位或者砚山出线两侧断路器断开。

正常情况下在方式二运行时, 500 kV 交流场所有串均接入云南电网, 所有无功设备均可投入运行, 直流功率可从极 1、极 2 通过砚山 1、砚山 2 两条出线全部输送到云南。

1.4 功率“极1送广西, 极2送云南”运行方式的实现

直流系统在“极1送广西, 极2送云南”方式下运行时, 交流场1#、2#、3#、4#断路器及1#、2#隔离开关的位置状态如图4所示。

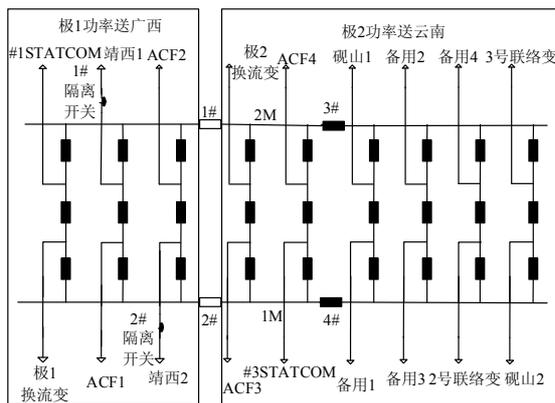


图4 功率“极1送广西, 极2送云南”方式下交流场配置
Fig. 4 Configuration of AC yard based on “Power of Pole1 to Guangxi and Pole 2 to Yunnan”

正常情况下在方式三运行时, 1#、2#母线断路器分位, 3#、4#母线断路器合位、1#、2#隔离开关合位; 500 kV 交流场所有串均为带电状态, 其中第一、二、三串连接到广西侧, 交流滤波器设备 AFC1 和 AFC2 用于极1直流功率输送到广西的无功控制; 第四、五、六、七、八、九连接到云南侧, 交流滤波器设备 AFC1 和 AFC2 用于极2直流功率输送到云南的无功控制。

1.5 三种功率输送方式的自动判别

交流站控主机通过采集交流场开关的位置以及交流母线电压信号, 来完成三种功率输送方式的自动判别和输出。

三种功率输送方式信号输出的原则是: 如果从当前方式向另一种方式转变时, 只有在另一种方式的开关状态条件全部满足后, 输出的方式状态才发生切换, 在转换过程中保持转换前方式状态不变, 方式判断及转换逻辑如图5所示; 采用这种设计可以防止开关位置节点信号丢失引起方式状态的误判。

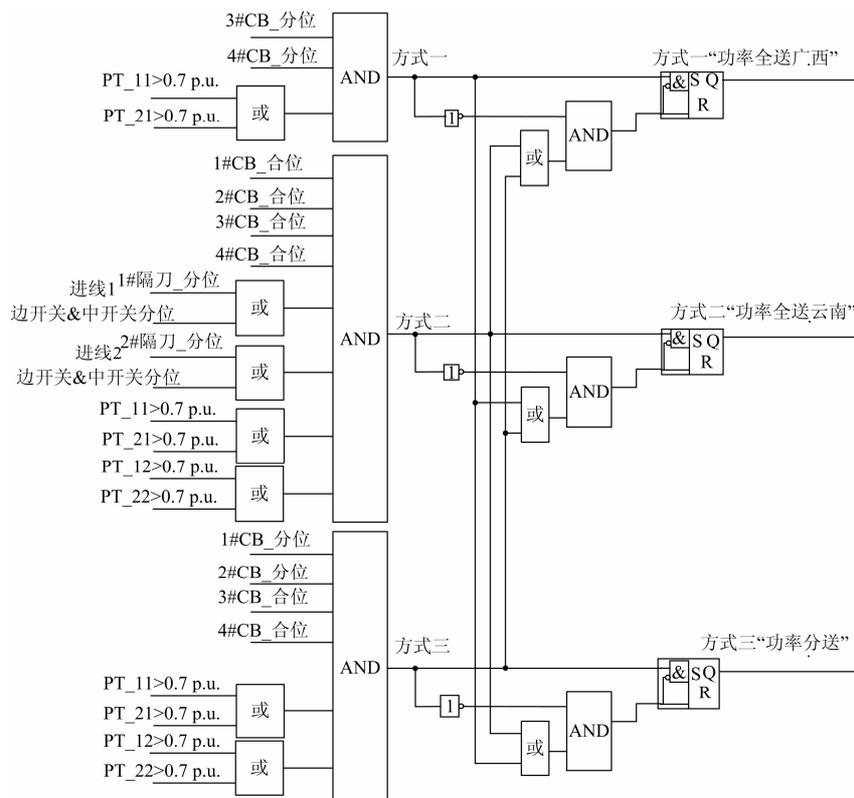


图5 功率输送方式自动判别逻辑

Fig. 5 Automatic recognition logic of power transmission modes

2 功率不同输送方式对控制保护的影响

永富直流工程三种不同直流功率的输送方式,

对控制保护系统的功能设计也有了新的要求, 主要包括: 三种运行方式的自动识别、无功控制、最后断路器判断逻辑、控制模式、直流保护配置等。

2.1 控制模式

在方式 1(功率“全送广西”)或方式 2 方式 2(功率“全送云南”)运行时直流系统控制模式与以往工程相同,可采用双极功率控制模式、极功率控制模式和极电流控制模式。

在方式 3 双极功率分送云南、广西工况下,由于各极的功率输送分别独立控制,因此只能采用极功率控制模式或者极电流控制模式;极 1、极 2 相互独立运行、互不影响,当一极跳闸,整流侧输送功率不考虑极间转移^[4-6]。

2.2 逆变站最后断路器的判断逻辑

永富工程直流功率输送三种不同运行方式主要是通过逆变站 500 kV 交流场 1#、2#、3#、4#母线断路器的分合操作实现的,在不同运行方式下逆变站最后断路器的判断条件也有所不同,主要体现在 500 kV 交流场参与最后断路器判断逻辑开关的范围不同。

在方式一运行时,换流变最后断路器只考虑第一、二、三、四串的开关设备(见图 2)。

在方式二运行时,两个线路隔刀分开后,整个 500 kV 交流场开关都属于换流变最后断路器逻辑的设计范围。

在方式三运行时,如图 4 所示极 1 换流变最后断路器逻辑的设计范围只包括 500 kV 交流场第一、二、三串的开关设备;极 2 换流变最后断路器逻辑的设计范围只包括 500 kV 交流场第四、五、六、七、

八、九串的开关设备。

2.3 无功控制

与以往工程相比较,无功控制功能设计原理的差异主要体现在逆变侧富宁站:

在方式 1(功率“全送广西”)或方式 2(功率“全送云南”)运行时,逆变站四个大组无功设备作为一个整体参与到功率全送广西或云南的无功自动控制;无功控制功能中绝对最小滤波器和最小滤波器的投入类型、数量及投入时功率参考值在方式 1 和方式 2 两种运行方式下会有所不同,因此无功控制功能应该能够完成不同方式下的自动切换,自动选择相应的绝对最小滤波器和最小滤波器投入逻辑^[7-11]。

在方式 3(功率“极 1 送广西,极 2 送云南”)运行时无功控制功能较为复杂,根据图 4 所示作为逆变站的富宁站 500 kV 交流场被分为两个独立运行的交流场,4 大组无功设备也被分为两个独立的部分,其中 AFC1、AFC2 只参与极 1 功率输送时的无功控制,AFC3、AFC4 只参与极 2 功率输送时的无功控制;因此,在方式 3 运行时,逆变站的无功控制由两部分组成,并相互独立,可以称之为极 1 无功控制和极 2 无功控制;极 1 无功控制和极 2 无功控制可以分别选择不同的控制模式(U 控制或 Q 控制),绝对最小滤波器及最小滤波器控制逻辑的设计均按各自的单极大地回线运行方式考虑;富宁换流站站无功控制逻辑如图 6 所示。

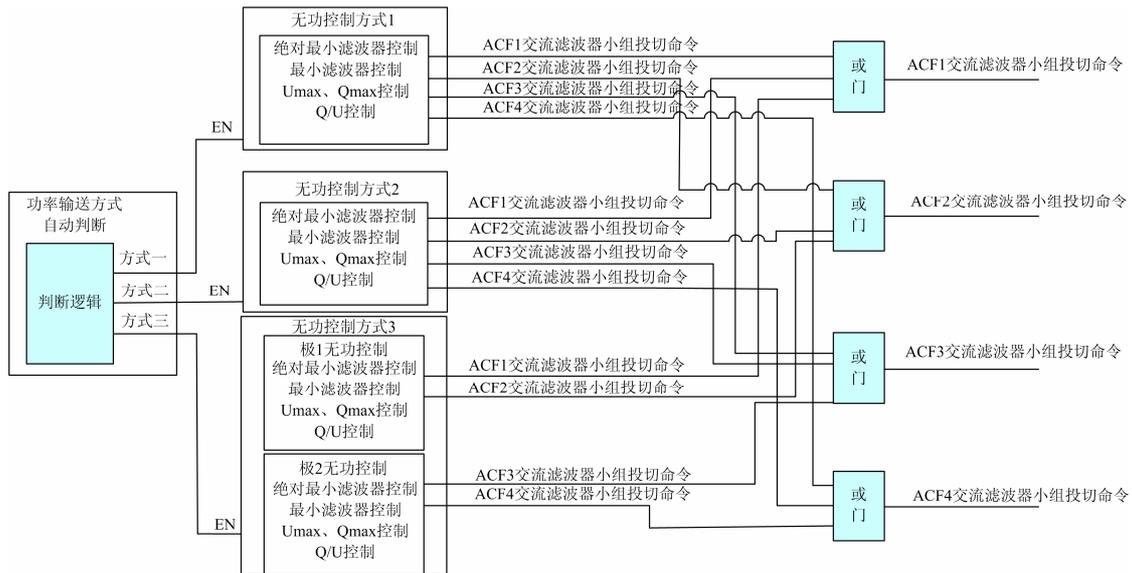


图 6 富宁站无功控制原理框图

Fig. 6 Logic of reactive power control at Funing station

2.4 直流保护

由于与受端相连的是两个不同的交流电网,系

统参数的不同会影响到部分直流保护的定值设定,不同运行方式对应的定值还需进一步仿真研究;直

流保护在不同方式运行时应具备定值的自动切换功能^[12]。

富宁换流站直流保护中的交流过电压、交流低电压等保护功能均需按极单独配置, 应分别引自不同 PT, 以适应在方式 3 功率分送运行时对两个不同交流电网的电压监视和保护。

在方式 3 运行时整流和逆变站的双极中性母线区域的保护逻辑也需特殊设计, 尤其对于双极保护动作出口中的“双极平衡”命令; 以往工程中直流保护“双极平衡”动作出口后, 有两种平衡策略在不同工程中均有应用:

(1) “双极平衡”策略一

整流站控制系统收到本站或对站的双极平衡请求后, 根据调度要求的输出总功率自动分配到两个运行极, 在不损失输出功率的情况将双极中性线电流平衡到零。

(2) “双极平衡”策略二

整流站控制系统收到本站或对站的双极平衡请求后, 将电流较大的一极自动降低到另一极的电流值, 在实现双极平衡功能的同时会损失部分直流功率。

在方式 3 运行时由于功率分别输送到云南和广西, 极 1、极 2 功率输送独立控制, 如“双极平衡”采用策略一会同时影响到云南输送功率和广西输送功率的大小, 如“双极平衡”采用策略二仅会影响到某一侧的输送功率; 从双极平衡的动作结果影响范围上分析, 建议采用策略二^[13-16]。

3 三种功率输送方式自动转换顺序控制的实现

3.1 三种功率输送方式转换时的系统工况

由于三种不同功率输送方式在直流输电工程中是首次运用, 目前尚无工程运行经验可以借鉴; 直流功率输送方式转换时需要考虑整个系统运行工况。

直流功率——建议在直流输送功率为零, 即系统已经闭锁时进行三种功率输送方式的转换操作; 这种设计主要考虑的是在功率输送方式转换时, 无功控制、最后断路器保护、直流保护、控制模式等需要同时进行转换, 为了避免功率输送方式转换失败或者功率方式转换时断路器操作不到位输出错误的位置状态, 从而造成直流控制保护系统采用错误的无功控制、最后断路器保护、直流保护等逻辑, 影响整个直流输电的安全稳定运行。

逆变站 500 kV 交流场——三种功率输送方式的转换是通过在逆变站 500 kV 交流场四个母线断

路器和两个进线隔离刀闸的分合操作实现的; 三种功率输送方式的转换操作有两种实现方法, 这两种方法主要基于逆变站是否允许云南、广西短时并网:

方法一, 允许云南、广西短时并网; 其优点是不存在 500 kV 交流母线同时失压, 功率输送方式完成转换用时短, 能够快速恢复直流功率输送; 缺点是有短时的并网合环操作。

方法二, 禁止云南、广西并网操作; 其优点是无并网时的操作失败风险; 缺点是转换过程中 500 kV 交流场需要大量的倒闸操作, 500 kV 双母线、交流滤波器母线会同时失压, 换流变压器、高压站用变会全部失电; 交流母线及变压器设备重新充电时间较长, 500 kV 交流场双母线失压后对站内设备影响较大; 整个直流功率的恢复输送需要大量的时间。

鉴于永富工程系统的整体设计, 在逆变站 500 kV 交流场建议采用方法一完成直流功率输送方式的转换。

3.2 三种功率输送方式转换时的联锁条件

三种功率输送方式在转换时, 为了防止运行人员误操作, 同时确保转换过程能够顺利成功, 因此需要相应的联锁条件, 联锁条件的设计主要基于直流未解锁、单极解锁、双极解锁三种工况, 联锁条件图 7、图 8、图 9 所示。

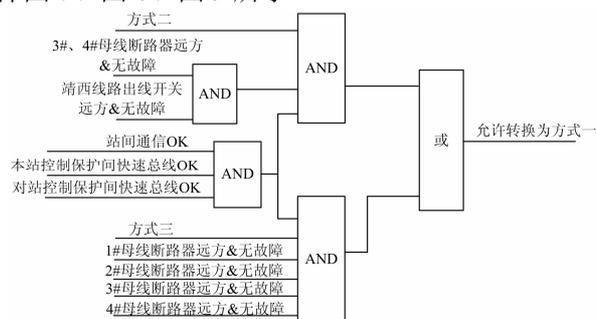


图 7 转换为方式一（全送广西）的联锁条件

Fig. 7 Interlocking logic of transfer to mode “all to Guangxi”

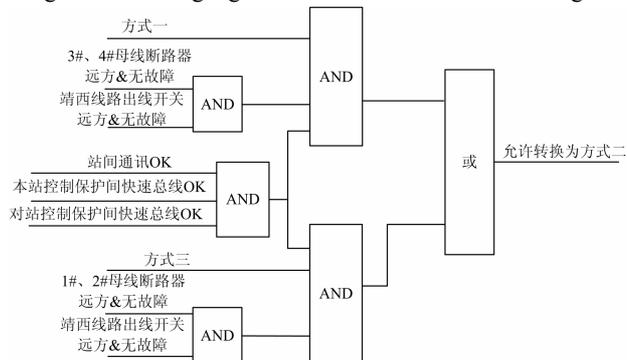


图 8 转换为方式二（全送云南）的联锁条件

Fig. 8 Interlocking logic of transfer to mode “all to Yunnan”

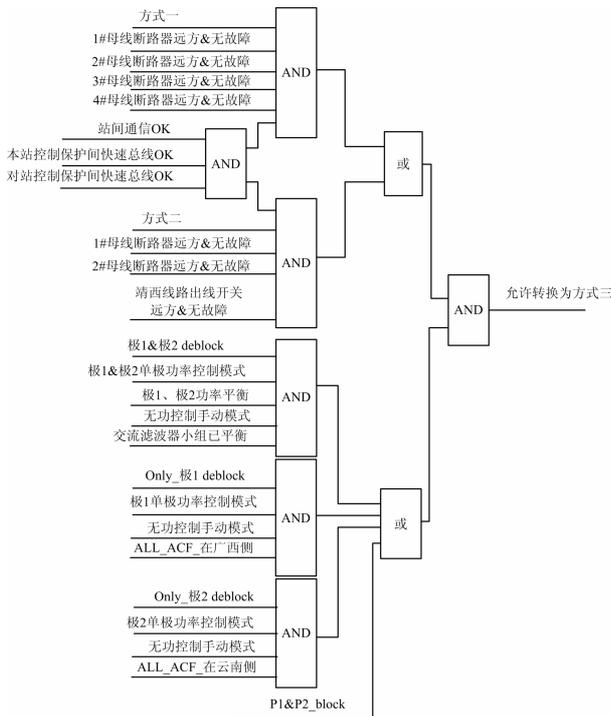


图 9 转换为方式三(极 1 广西, 极 2 云南)的联锁条件
 Fig. 9 Interlocking logic of transfer to mode “Pole 1 to Guangxi, Pole 2 to Yunnan”

3.3 三种功率输送方式转换的顺序控制

为了实现直流系统状态之间的平稳转换及每种状态下安全地手动或自动控制, 换流站设计有顺序控制和联锁系统。顺序控制和联锁系统的目标是平稳地起动和停运直流输电系统以及在各种控制模式和运行方式下安全可靠地转换^[17]。

功率输送模式的转换设计在交流站控主机程序中, 可以通过运行人员手动或自动操作; 采用自动操作时, 自动转换顺序控制功能可以防止运行人员误操作, 并能快速的完成直流功率输送方式的转换; 顺序控制基于换流器闭锁、云南广西短时并网的原则进行设计。

方式一(功率“全送广西”)、方式二(功率全送)、方式三(功率“极 1 送广西、极 2 送云南”)之间的自动转换顺序控制设计如下。

(1) 方式一 >> 方式二

- 步骤 1, 合 3#母线断路器;
- 步骤 2, 合 4#母线断路器;
- 步骤 3, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分第二串靖西 1 出线中开关;
- 步骤 4, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分第二串靖西 1 出线边开关;
- 步骤 5, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分第三串靖西 2 出线中开关;

步骤 6, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分第三串靖西 2 出线边开关;

步骤 7, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分靖西 1 出线线路隔刀;

步骤 8, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分靖西 2 出线线路隔刀。

(2) 方式二 >> 方式一

转换前运行人员应根据调度要求合上靖西 1 或靖西 2 的线路隔刀, 确定准备采用哪条线路输出直流功率。

步骤 1, 如靖西 1 线路隔刀合位, 合第二串靖西 1 出线边开关;

步骤 2, 如靖西 1 线路隔刀合位, 合第二串靖西 1 出线中开关;

步骤 3, 如靖西 2 线路隔刀合位, 合第三串靖西 2 出线边开关;

步骤 4, 如靖西 2 线路隔刀合位, 合第三串靖西 2 出线中开关;

步骤 5, 分 3#母线断路器;

步骤 6, 分 4#母线断路器。

(3) 方式一 >> 方式三

步骤 1, 合 3#母线断路器;

步骤 2, 合 4#母线断路器;

步骤 3, 分 1#母线断路器;

步骤 4, 分 2#母线断路器。

(4) 方式二 >> 方式三

步骤 1, 如靖西 1 线路隔刀合位, 合第二串靖西 1 出线边开关;

步骤 2, 如靖西 1 线路隔刀合位, 合第二串靖西 1 出线中开关;

步骤 3, 如靖西 2 线路隔刀合位, 合第三串靖西 2 出线边开关;

步骤 4, 如靖西 2 线路隔刀合位, 合第三串靖西 2 出线中开关;

步骤 5, 分 1#母线断路器;

步骤 6, 分 2#母线断路器。

(5) 方式三 >> 方式一

步骤 1, 合 1#母线断路器;

步骤 2, 合 2#母线断路器;

步骤 3, 分 3#母线断路器;

步骤 4, 分 4#母线断路器。

(6) 方式三 >> 方式二

步骤 1, 合 1#母线断路器;

步骤 2, 合 2#母线断路器;

步骤 3, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分第二串靖西 1 出线中开关;

步骤 4, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分第二串靖西 1 出线边开关;

步骤 5, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分第三串靖西 2 出线中开关;

步骤 6, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分第三串靖西 2 出线边开关;

步骤 7, 如靖西 1 线路隔刀合位, 分靖西 1 出线线路隔刀;

步骤 8, 如靖西 2 线路隔刀合位, 分靖西 2 出线线路隔刀。

4 总结

永富直流工程采用功率“全送广西”、功率“全送云南”、功率“极 1 送广西、极 2 送云南”三种不同的直流功率输送方式, 这种设计方式在世界上直流输电工程中是首次应用; 针对这三种运行方式对直流控制保护系统的影响进行了详细的分析研究, 新的设计理念和原理还有待进一步经过工程现场实际运行验证, 并对以后同类型直流输电工程的设计提供了一定参考和借鉴价值。

参考文献

- [1] 罗磊, 盛琰, 王清坚, 等. 特高压直流输电系统顺序控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 30-33, 38.
LUO Lei, SHENG Yan, WANG Qingjian, et al. Research on sequence control in UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 30-33, 38.
- [2] 张爱玲. 溪洛渡送电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 Ailing. 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.
- [3] 李兴源, 赵睿, 刘天琪, 等. 传统高压直流输电系统稳定性分析和控制综述[J]. 电工技术学报, 2011, 28(10): 288-300.
LI Xingyuan, ZHAO Rui, LIU Tianqi, et al. Research of conventional high voltage direct current transmission system stability analysis and control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 28(10): 288-300.
- [4] 陈潜, 张尧, 钟庆, 等. ± 800 kV 特高压直流输电系统运行方式的仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2007, 35(16): 27-32.
CHEN Qian, ZHANG Yao, ZHONG Qing, et al. Simulation of ± 800 kV UHVDC system under different operation modes[J]. Power System Protection and Control, 2007, 35(16): 27-32.
- [5] 石岩, 张民, 赵大平. 特高压直流工程二次系统成套设计方案及其特点[J]. 电网技术, 2008, 32(21): 1-5.
SHI Yan, ZHANG Min, ZHAO Daping. Complete set design scheme of protection and control system for UHVDC project and its features[J]. Power System Technology, 2008, 32(21): 1-5.
- [6] 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 Lijun, HAO Junfang, et al. Redundant design of control and protection system for HVDC transmission[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 88-91.
- [7] 周俊, 郭剑波, 胡涛, 等. 高压直流输电系统数字物理动态仿真[J]. 电工技术学报, 2012, 27(5): 221-228.
ZHOU Jun, GUO Jianbo, HU Tao, et al. Digital/analog dynamic simulation for ± 500 kV HVDC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(5): 221-228.
- [8] 陈瑶, 潘久平, 姚大伟, 等. 厂用电系统协调无功控制策略[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊 1): 189-195.
CHEN Yao, PAN Jiuping, YAO Dawei, et al. Study of coordinated reactive power control strategy for power plant electrical auxiliary system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(S1): 189-195.
- [9] 戴国安, 周君文, 王亚非. 特高压直流无功控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(14): 48-51.
DAI Guoan, ZHOU Junwen, WANG Yafei. Strategy of reactive power control on UHVDC[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(14): 48-51.
- [10] 张望, 郝俊芳, 曹森, 等. 直流输电换流站无功功率控制功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 72-76.
ZHANG Wang, HAO Junfang, CAO Sen, et al. Design of reactive power control for HVDC converter station[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(14): 72-76.
- [11] 张强, 梁迪团, 刘宁. ± 800 kV 普洱换流站无功配置的研究分析[J]. 高压电器, 2015, 51(3): 117-121.

ZHANG Qiang, LIANG Ditian, LIU Ning. Reactive power compensation scheme and configuration for ± 800 kV Pu'er converter station[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(3): 117-121.

[12] 孙巍峰, 张清枝, 冯广涛, 等. 特高压直流换流站就地控制功能设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(20): 62-65, 77.

SUN Weifeng, ZHANG Qingzhi, FENG Guangtao, et al. Function design of local control of converter station in UHVDC[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(20): 62-65, 77.

[13] 王徕. 特高压直流输电控制与保护技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 53-58.

WANG Yao. Study on the control and protection system of ultra high voltage direct current transmission[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 53-58.

[14] 严兵, 李俊霞, 张又珺. 特高压直流保护专有功能概述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 73-75, 85.

YAN Bing, LI Junxia, ZHANG Youjun. Special protection functions in UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(12): 73-75, 85.

[15] 胡勇, 粟小华, 李怀强, 等. 青藏 ± 400 kV 直流联网工程继电保护配置与应用[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(3): 27-32.

HU Yong, SU Xiaohua, LI Huaiqiang, et al. Configuration and application of relay protections in ± 400 kV HVDC Qinghai-Tibet Interconnection System [J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(3): 27-32.

[16] 霍鹏飞, 王国功, 刘敏, 等. 向上 ± 800 kV 特高压直流输电工程的直流保护闭锁策略[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 137-139, 144.

HUO Pengfei, WANG Guogong, LIU Min, et al. The DC protection block strategy in Xiangjiaba-Shanghai ± 800 kV UHVDC transmission project[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(9): 137-139, 144.

[17] 涂仁川. 特高压直流换流站顺序控制的研究[J]. 南方电网技术, 2008, 2(4): 72-76.

TU Renchuan. Research on sequence control in UHVDC converter station[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(4): 72-76.

收稿日期: 2014-09-28; 修回日期: 2014-12-01

作者简介:

刘毅力(1974-), 男, 硕士研究生, 讲师, 研究方向为电力系统自动化和电力设备在线监测; E-mail: plclyl@163.com

贾轩涛(1982-), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为高压直流输电控制保护系统软件设计; E-mail: jiaxuanta@163.com

戴国安(1973-), 男, 本科, 高级工程师, 从事高压直流输电系统软件设计工作。

(编辑 张爱琴)