

直流输电系统极控软件故障监视功能介绍

朱韬析¹, 杨帆¹, 王超²

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 浙江省电力调度通信中心, 浙江 杭州 310007)

Introduction to Software Functions of Pole Control System Used in Tian-Guang and Gui-Guang HVDC Transmission Systems

ZHU Tao-xi¹, YANG Fan¹, WANG Chao²

(1. CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou Bureau, Guangzhou, Guangdong 510405, China;

2. Zhejiang Electric Power Dispatch and Communication Center, Hangzhou, Zhejiang 310007, China)

Abstract: Functions of the SIEMENS pole control system used in Tian-Guang and Gui-Guang HVDC transmission projects are introduced briefly, and the monitoring performed by software functions of the system is analyzed in detail. Furthermore, some useful suggestions to improve the monitoring are proposed with the operation experience in Tian-Guang and Gui-Guang HVDC transmission projects.

Keywords: HVDC; pole control system; monitoring by software

摘要: 简要地介绍了天广直流和贵广 I 回直流输电工程采用的 SIEMENS 公司提供的直流极控系统的功能, 对其软件故障监视功能进行详细分析, 并根据天广直流和贵广 I 回直流输电工程实际运行经验, 提出了改进软件故障监视功能的建议。

关键词: 直流输电; 极控系统; 软件故障

直流输电具有传送功率大、线路造价低、控制性能好等优点, 是目前发达国家作为高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段^[1]。极控系统是直流输电换流站控制系统的核心, 其控制性能直接决定了直流系统的各种响应特性以及功率/电流稳定性^[2]。南方电网的天广直流和贵广 I 回直流输电工程采用了 SIEMENS 公司提供的直流极控系

统^[3]。

本文详细介绍了天广直流极控系统中所有软件故障监测功能, 然后结合天广和贵广 I 回直流输电系统的实例进行说明, 并对极控软件故障动作后果提出了改进建议。

1 故障监视功能简介

天广直流极控系统由高速数字式可编程控制器 SIMADYN D 系统实现, 每极极控系统由系统 1、系统 2 和系统切换控制模块三部分组成, 系统切换控制模块安装在系统 1 屏内, 接口转换器安装在系统 2 屏内。

系统 1 和系统 2 完全独立, 正常时一个系统工作, 另一个系统热备用, 当主系统故障时, 可以自动切换到热备用系统, 切换平滑快速且不会丢失信息。但如果备用系统也同时出现故障, 将导致直流输电系统停运。

极控系统所监视的设备出现错误后, 会根据错误的类型判断为“软件故障”或“软件告警”, 由于部分信号对于控制功能并不重要或只是用于信息的收集, 所以并不需要将极控切换到备用系统, 这类故障便是软件告警, 不启动自动切换逻辑; 但所有的软件故障类型的错误信号都要启动切换逻辑, 将极控切换到备用系统, 如果备用系统也出现软件故障, 切换不成功, 则会启动紧急停运。

天广直流极控系统有以下监视功能, 当其中之一发现故障, 便会认为出现了软件故障。

(1) 现场总线监视功能。

天广直流输电系统中, 直流场、阀厅、阀冷系统、交流联络线、换流变压器、阀基电子设备、直流保护系统的信息经现场总线送至极控系统, 所有从属设备的通讯错误信息都会被监视, 根据对主通讯处理器模块 (SS52)、从属通讯处理器 SU200 或直流保护的主通讯处理器模块 (SS52)、光学连接模块 (OLM) 等设备的监测, 辨别现场总线是功能错误还是设备故障。

天广直流输电系统的极控、站控、现场总线接口屏、直流保护等屏柜均为钢门密封设计, 散热装置安装位置不是非常合理, 再加上空调通风系统经长期运行后容易出现故障, 常常导致发热情况严重, 最终造成屏柜内的 OLM 模块故障率较高, 并多次引起极控软件故障监视功能动作、切换至备用极控系统。

(2) LAN (local area network) 监视功能。

模拟屏、工作站、RTU、直流站控、交流站控与极控之间通过 LAN 和通讯点进行通讯。通讯设备之间的所有连接都是冗余的。当主 LAN 故障或受干扰, 可以自动切换到备用 LAN。

极控能检测到位于极控的通讯处理器模块 (CSH11) 的故障和所有当前连接设备的通讯故障。当两套 LAN 均故障时, 极控系统会判别并产生“软件故障”的信号。

(3) 直流电流的监视功能。

直流电流的监视功能是通过比较高压直流母线电流 (I_{dH}) 和换流变压器阀侧电流 (I_{dY} 、 $I_{d\Delta}$) 来实现。

如果:

$$0.5I_{dH} - \text{MAX}(I_{dY}, I_{d\Delta}) < -0.05 \text{ p.u.}$$

则认为出现了软件故障;

如果:

$$\text{MAX}(I_{dY}, I_{d\Delta}) - 0.5I_{dH} < -0.05 \text{ p.u.}$$

由于换流变压器阀侧电流并未用于极控的控制功能, 所以此时仅认为软件告警。

(4) 有功功率的监视功能。

有功功率的监视功能通过比较换流变压器一次侧的有功功率 (P_{AC}) 和直流功率 (P_{DC}) 实现。换流变压器一次侧的有功功率根据交流电压 (U_{AC}) 和交流电流 (I_{AC}) 计算, 直流功率则通过直流电压 ($U_d = U_{dL} - U_{dN}$) 乘以直流电流 ($I_d = \text{MAX}(I_{dH}$,

$2I_{dY} - 0.1, 2I_{d\Delta} - 0.1)$ p.u.) 得到:

如果 $\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| > 0.5 \text{ p.u.}$, 且满足动作延时 50 ms;

或是 $\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| > 0.1 \text{ p.u.}$, 且满足动作延时 1 s;

则认为出现了软件故障。

(5) 同期电压监视功能。

极控软件监视换流变压器网侧交流电压 (U_{AC}), 如果换流变压器交流侧断路器在合位时, 其正序电压值在 500 ms 内均低于 0.1 p.u., 则认为出现了软件故障。

(6) 直流电流截止监视功能。

天广直流输电系统通过计算每一个换流阀的电流结束时刻和对应的交流线电压过零时刻之间的时间间隔并转换为角度量, 获得该阀的熄弧角。其中, 阀电流结束时刻由该换流阀对应的可控硅电子设备测量, 经阀基电子设备送至极控; 对应的交流线电压过零时刻则由极控根据换流变压器一次侧电压计算得到。

如果某换流阀电流结束时刻晚于对应的交流线电压过零时刻, 则认为阀电流结束时刻错误, 主系统检测到该错误的时间超过 0.2 s, 则判断出现了软件故障; 备用系统对应的动作延时则为 300 s。

这一监视功能还有如下限制条件, 同时要求: 交流电压 (U_{AC}) 大于 0.75 p.u.; 极已解锁; 逆变站; 阀基电子设备运行正常; 没有启动紧急停运 (ESOF)、闭锁或出现直流线路故障; 旁通对未投入; SIMADYN D 装置初始化已完成。

(7) 交流线电压过零时刻监视功能

同样, 极控系统也有监视交流线电压过零时刻, 如果在阀电流结束信号之后 10 ms 还未检测到交流线电压过零时刻, 则认为交流线电压信号错误; 如果这一信号保持时间超过 900 ms, 极控系统就会判断出现软件故障。

交流线电压过零时刻监视功能也有如下限制条件, 同时要求: 交流电压 (U_{AC}) 大于 0.75 p.u.; 极已解锁; 逆变站; 阀基电子设备运行正常; 没有启动紧急停运 (ESOF)、闭锁或出现直流线路故障; 旁通对未投入。

(8) 交流电压 (U_{AC}) 输入监视功能。

交流电压输入监视功能的基本原理是直接比较三相交流电压值和正序电压, 如果二者的差大于

0.15 p.u., 且满足设定延时 1.025 s, 则判断软件故障。

此外, 如果测量接口模块 (IM3) 或模数转换模块 (IT1) 故障, 该监视功能也会同样动作。

(9) 交流电流 (I_{AC}) 输入监视功能。

交流电流输入监视功能和交流电压输入监视功能的原理基本一致: 如果三相交流电流值和正序电流的差值大于 0.15 p.u., 且满足设定延时 1.025 s, 则判断软件故障。

同样, 测量接口模块 (IM3) 或模数转换模块故障时, 该监视功能也会动作。

(10) 旋转磁场 (monitoring of rotating field) 监视功能。

旋转磁场监视功能是通过监测三相交流电压和电流的测量值及其正序值来实现, 如果测量值小于 0.45 p.u., 而其正序值却大于 0.6 p.u., 则认为这些量的方向相反, 判断为软件故障。

(11) 不正常运行范围的监视功能。

不正常运行范围监视的目的是检测控制系统的内部故障和外围设备的故障, 通过监测直流电流和直流电压来实现。正常运行情况下, 如果满足下列条件之一:

——高压直流线路电压 (U_{dL}) 低于 0.55 p.u., 动作延时为 3 s;

——高压直流母线电流 (I_{dH}) 减去 0.03 p.u.后, 仍大于系统所允许的最大电流值 (I_{max}), 动作延时为 5 s。

极控系统 will 认为软件故障, 延时 500 ms 后切换至备用系统; 如果故障仍然存在, 3 s 后备用系统也

将判断软件故障, 启动紧急停运。

(12) 直流电压测量通道监视功能。

如果高压直流线路电压 (U_{dL})、直流中性母线电压 (U_{dN}) 或高压直流母线电流 (I_{dH}) 的光学测量信道出现故障, 也会判断为软件故障。

(13) 其他还会导致极控系统判断软件故障的情况。如极控启动后 5 s, 仍未收到软件成功启动的信号; 本系统处于不定义的激活状态, 动作延时为 230 ms; 时钟初始化故障: 通过 LAN 将主时钟信号送至极控, 但 20 s 后仍未收到, 则认为时钟初始化错误; 内部存储器软件故障。

2 运行实例

天广和贵广 I 回直流输电工程自投运以来, 曾出现过以下几例因极控系统软件故障导致直流系统闭锁的事故:

(1) 2006 年 05 月 24 日, 贵广直流肇庆换流站极 II 直流电压波动^[4]引起极控系统中交直流功率偏差超过定值, 两套极控系统均判断出现软件故障, 从而启动紧急停运^[5], 事故录波图如图 1 所示。

2006 年 05 月以来, 由于肇庆换流站极 II 高压直流分压器测量故障^[4], 导致极 II 直流电压波动的现象时有发生。故障前肇庆换流站极 II 高压直流电压最低已下降至 -350 kV 左右, 并持续了较长时间, 导致极控软件对于直流功率的计算出现了较大偏差。结合录波图, 此时极控计算的极 II 直流功率为:

$$\begin{aligned} P_{DC} &= U_d \times I_{dH} = (U_{dL} - U_{dN}) \times I_{dH} \\ &\approx 350 \text{ kV} \times 3 \text{ kA} \\ &= 1\ 050 \text{ MW} \end{aligned}$$

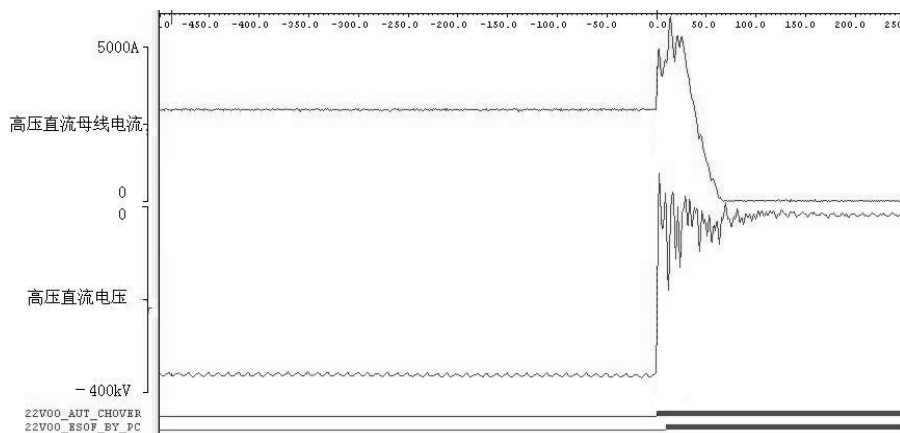


图 1 事故暂态录波图

Fig. 1 Transient Recorded Curves during the Fault

而此时换流变交流侧的电压和和电流的测量值仍能正常反应实际值, 应为 1 500 MW, 根据极控的有功功率监视功能,

$$\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| \approx 450 \text{ (MW)}$$

如图 1 所示, 极控检测到软件故障后, 自动切换极控系统 (22V00_AUTO_CHOVER), 由于备用极控系统也检测到软件故障, 切换不成功, 于是极控启动 ESOF (22V00_ESOF_BY_PC), 紧急停运了极 II。

(2) 2001 年 12 月 06 日 02: 25, 天广直流逆变侧广州换流站对极 II 换流变压器充电瞬间, 由于谐波电压过大, 造成极 I 两套极控系统的电压监视功能动作, 判断出现软件故障并紧急停运了极 I。

(3) 2007 年 01 月 30 日 22:13, 天广直流系统整流侧天生桥站在关掉 LAN 网屏内与远方站通信的网桥 G1、G2 装置 (CISCO 2500 路由器) 电源开关后, 导致双极极控系统与 LAN1、LAN2 的通信均故障, 从而双极极控系统均判断为软件故障, 发出 ESOF 紧急停运命令, 双极停运。

3 改进建议

天广和贵广 I 回直流输电系统投运以来, 均出现过因极控软件故障而导致直流系统停运的事故。结合上文所述, 大部分软件故障的后果往往并不会立即对设备运行和系统稳定造成重大破坏, 所以不妨考虑对其动作后果做适当的修改:

(1) 将启动紧急停运 (ESOF) 的动作后果修改为启动闭锁 (Block), 这样在功率逐渐下降到最低限值后才强制移相, 可以减小对电网的冲击;

(2) 或者适当的修改动作条件, 然后由运行人员根据故障的具体情况决定是否需要立即启动停运。

如 2007 年 4 月以来, 天广直流系统极 I 也出现了类似贵广 I 回直流系统极 II 的电压异常波动现象, 对此, 运行单位便对有功功率监视功能定值做了如下修改:

如果 $\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| > 0.6 \text{ p.u.}$, 且满足动作延时 500 ms;

或是 $\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| > 0.4 \text{ p.u.}$, 且满足动作延时 5 s;

以尽可能防止其动作、导致直流系统不必要的停运。

4 结束语

极控系统是整个直流输电控制系统的核心, 对功率传输的稳定准确和一次设备的安全运行至关重要。天广直流和贵广 I 回直流输电工程均配置了两套相同的极控系统, 实现冗余备用, 并设置了大量软件监视功能对极控系统运行情况进行监视。

本文以天广直流输电系统为例, 详细介绍了其极控软件监视功能, 并结合实例予以说明, 同时也针对软件故障的动作后果和部分监视功能给出了改进建议, 这将对确保直流输电系统和电网的稳定运行起到一定的作用。

参考文献:

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电电教研组. 直流输电[M]. 水利电力出版社, 1985:16-17, 90-95.
- [2] 田杰. 高压直流控制保护系统的设计与实现. 电力自动化设备[J], 2005, 25(9):10-14.
TIAN Jie. Design and realization of HVDC control and protection system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(9):10-14.
- [3] 朱韬析, 邝建荣, 王超. 天广直流输电工程 ESOF 功能简介[J]. 高电压技术, 录用.
ZHU Tao-xi, KUANG Jian-rong, WANG Chao. Introduction of ESOF in Tian-Guang HVDC Transmission Project[J]. High Voltage Engineering, processing.
- [4] 段卫国, 陆岩, 阳少军. 高肇直流极 II 直流电压异常波动分析[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(3): 23-24.
DUAN Wei-guo, LU Yan, YANG Shao-jun. Analysis of the abnormal DC voltage fluctuation of the pole II in the Gui-Guang HVDC transmission system[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(3): 23-24.
- [5] 陈立, 周翔胜, 林睿. 贵广直流系统双极相继跳闸事故分析[J]. 南方电网技术研究, 2007, 3(2): 28-31.
CHEN Li, ZHOU Xiang-sheng, LIN Rui. Analysis about Bipolar Sequential Trip in Gui-Guang HVDC System[J]. Southern Power System Technology Research, 2007, 3(2): 28-31.

收稿日期: 2007-09-06

作者简介:

朱韬析 (1980 -): 男. 助理工程师, 硕士, 目前从事直流输电运行维护工作。

杨帆 (1979 -): 男. 助理工程师, 本科, 目前从事直流输电运行维护工作。

王超 (1981 -), 男. 博士, 主要从事电网经济运行与调度的研究。

(本文责任编辑 张亚拉)