

天广直流输电系统线路行波保护介绍

朱韬析, 汲广

(中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

摘要: 行波保护是天广直流输电系统的线路主保护, 首先介绍了行波保护的算法以及根据运行实际情况对其所做的改进, 然后根据故障暂态录波和数据分析了行波保护的動作过程, 计算结果表明, 天广直流保护系统采用的行波保护能够快速准确地检测直流线路故障。最后还讨论了行波保护在运行中曾出现的问题。

关键词: 直流输电; 线路故障; 行波保护

Introduction of wave front protection in Tian-Guang HVDC transmission system

ZHU Tao-xi, JI Guang

(GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China)

Abstract: Based on the arithmetic of wave front protection which is used as the main protection of DC line fault in Tian-Guang HVDC transmission system, and combined with the transient recorder and data in DC line fault, the action process of wave front protection is discussed in this paper. The result and operational experiences confirm that the wave front protection is fast and reliable. At last, an accident occurred in operation is introduced.

Key words: HVDC; DC line fault; wave front protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)21-0086-04

0 引言

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]。近年来, 随着天广、贵广直流输电系统的相继投产, 直流输电工程在我国南方电网发挥了越来越重要的作用。但是, 直流线路距离长、跨越地区的情况复杂, 运行经验证明, 属于较易出现故障的设备。因此, 直流线路保护的正确动作与否, 对于整个电网的正常运行起着非常重要的作用^[2,3]。

天广±500 kV 直流输电工程全长 960 km, 额定容量为双极 1800 MW, 自 2001 年 6 月双极投运以来, 输送电量累计超过 300 亿度, 为西电东送发挥了重要而积极的作用^[4]。其直流线路保护系统由德国西门子公司设计, 从实际运行情况来看, 能比较有效地检测到直流线路上发生的故障, 保证一次主设备的安全运行。据统计, 自 2004 年至今, 天广直流系统共发生二十余次线路故障。

本文首先简单介绍了天广直流输电系统中直流线路保护系统的基本配置, 然后基于主保护——行波保护的算法, 结合故障暂态录波和数据分析了

行波保护的動作过程, 计算结果表明, 天广直流保护系统采用的行波保护能够快速准确地检测直流线路故障; 最后对行波保护在运行中曾出现的问题进行了讨论。

1 天广直流输电系统行波保护简介

根据电磁场理论, 电能以波的形式传播, 正常运行和发生故障时, 输电线路均存在运动的电压和电流行波^[5]。而当输电线路发生故障时, 由于其分布参数特性, 将产生由故障点向两侧传播的行波。从行波信号中有效地提取故障信息, 便构成了输电线路行波测距和行波保护算法^[5,6]。传统保护通常采用滤波等方法来消除暂态过程对保护的影响, 但滤波势必影响保护的動作速度, 加长保护的動作时间, 由此产生可靠性和動作速度之间的矛盾, 而利用故障暂态分量来实现保护功能的行波保护可以很好地解决这一矛盾^[5~10]。

1.1 行波保护算法

天广直流保护系统中的行波保护算法流程图如图 1 所示, 其中: U_{dl} 、 I_{dl} 分别为高压直流线路电压和电流, $U_{dl}(k)$ 和 $I_{dl}(k)$ ($k=1,2,3,\dots$) 分别为经高压直流分压器和分流器得到的电压和电流

的采样序列, 整流侧的 T 取为 0.15 p.u., 逆变侧为 0.4 p.u.。

1.2 运行中对行波保护所做的改动

由于逆变侧广州换流站投切交流滤波器时对

行波保护的干扰较大, 所以在双极运行情况下, 逆变侧广州换流站行波保护退出运行, 对行波保护的算法做了如图 2 所示的改动。

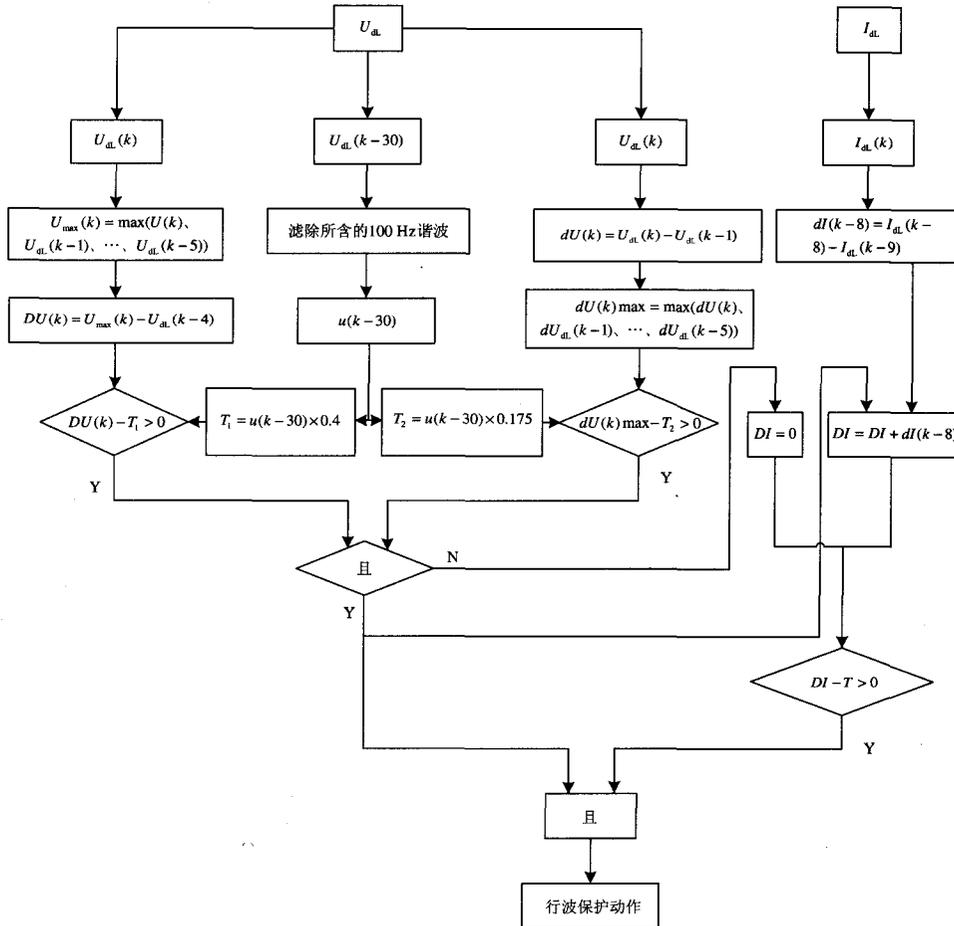


图 1 行波保护算法流程图

Fig.1 Flow chart of wave front protection

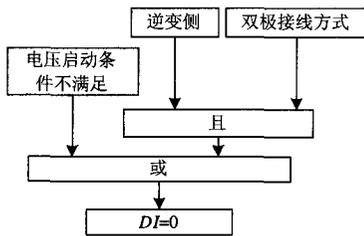


图 2 对行波保护算法所做的改进示意图

Fig.2 Modification of wave front protection

为了保证保护的可靠性, 天广直流双极直流保护系统均配置了 3 套系统, 各个系统内的硬件配置完全一致, 保护装置均采用数字式多微处理器的 SIMANDYN D 系统。正常运行时出口回路采用“三

选二”原则^[11], 当其中一套系统故障时转化为“二选一”。若系统 1 和 2 同时故障, 则跳换流变交流侧开关, 启动相应极 ESOF^[12]。

2 实例分析

2.1 线路保护正确动作

以天广直流输电系统某次线路故障为例, 暂态录波如图 3 所示。

故障瞬间部分电压、电流采样数据如表 1。

根据行波保护的算法, 在第 11 个采样时刻:

$$Du(11) = 474.982 \text{ kV} - 246.522 \text{ kV} =$$

$$238.46 \text{ kV} > 500 \times 0.4 = 200 \text{ kV}$$

$$du(11) = 238.46 \text{ kV} > 500 \times 0.175 \text{ kV} = 87.5 \text{ kV}$$

而其对应的第 3 个采样时刻:

$$I(8) - I(7) = 2144 - 1828 > 270 \text{ A}$$

满足行波保护动作的条件, 行波保护正常动作, 启动线路故障重启动。

表 1 故障时刻的数据

Tab.1 Voltage and current data

采样时刻	整流侧电流/A	整流侧电压/kV
1	1834	505.736
2	1828	503.783
3	2144	502.319
4	3070	499.878
5	2993	499.39
6	2783	474.982
7	2870	246.522
8	2964	100.073
9	3023	5.37
10	3146	16.109
11	3327	53.968
12	3327	70.295
13	3357	65.414

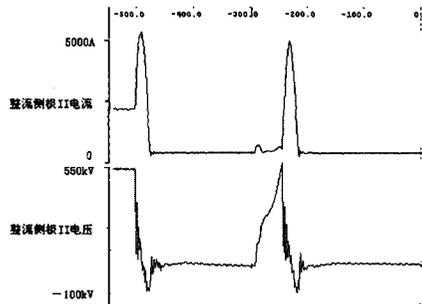


图 3 暂态录波

Fig.3 Transient recorder

2.2 高阻接地情况

2007 年 05 月 09, 天广直流输电系统极 1 发生了一次高阻接地故障, 整流侧录波如图 4 所示。

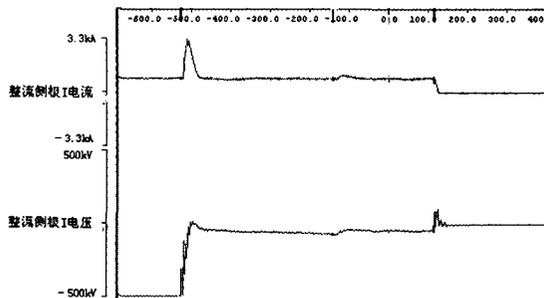


图 4 暂态录波

Fig.4 Transient recorder

故障瞬间部分电压、电流采样数据如表 2。

表 2 故障时刻的数据

Tab.2 Voltage and current data

采样时刻	整流侧电流/A	整流侧电压/kV
1	884.55	498.413
2	902.123	497.437
3	907.981	496.949
4	919.697	495.973
5	931.413	495.484
6	919.697	494.996
7	96.0703	489.626
8	1218	451.062
9	1576	372.468
10	1664	278.252
11	1699	204.052
12	1763	164.511
13	1793	146.449
14	1787	127.898
15	1804	116.183
16	1886	123.017
17	2033	153.771
18	2197	202.099
19	2343	250.427
20	2408	285.575

在故障时的 $Du(k) \max = 98 \text{ kV} < 200 \text{ kV}$, 显然, 行波保护无法启动。这需要高阻接地的主保护——线路差动保护或极控内的后备保护来识别。

3 运行中曾出现的问题

2006 年 05 月 27 日 08 时 18 分 24 秒, 天广直流逆变侧广州换流站极 1 保护系统 1、2 的行波保护动作, 约 55 ms 后, 极 1 直流保护系统 3 低电压保护动作。

根据上文所述, 正常情况下, 天广直流双极运行方式时逆变站(广州站)行波保护自动被闭锁, 低电压保护作为广州站的线路的主保护。而这次, 却发生了极 1 直流保护系统 1 和系统 2 行波保护动作、直流保护系统 3 低电压保护动作的保护异常动作情况。

经检查发现, 本次异常的原因是由于直流站控送入极 1 直流保护系统 1 的双极运行方式开入量在直流保护系统 1 的 +CE161 (48 针端子排) 处不能导通, 导致未能在双极方式运行时闭锁电流判据输出, 造成极 1 直流保护系统 1 和 2 的行波保护动作。行波保护启动 50 ms 后, 将复归上次线路故障的数

据信息, 为下次故障再启动做准备。

而低电压保护动作本身有 50 ms 的延时, 之后还要继续延时 5 ms, 用来识别处理器的采样差异, 才出口, 即低电压保护动作的准确延时时间应该 55 ms。

所以, 极 1 直流保护系统 1、2 的行波保护动作 50 ms 后, 复归了低电压保护; 而直流保护系统 3 由于直流站控送入的双极运行方式开入量并无错误, 所以其低电压保护在系统 1、2 的行波保护动作 55 ms 后正确动作。

4 结论

作为直流线路的主保护, 天广直流运行经验证明, 行波保护快速、可靠。本文介绍了行波保护的算法以及运行中曾出现的异常, 为深入研究直流线路保护及未来直流输电工程的实施, 提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
Zhejiang University HVDC Research Group. Direct Current Transmission[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.
- [2] 全玉生, 李学鹏, 马彦伟. 基于小波变换的 HVDC 线路行波距离保护[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(18): 52-56.
QUAN Yu-sheng, LI Xue-peng, MA Yan-wei. Distance Protection Scheme with Traveling Wave for HVDC Line Based on Wavelet Transform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(18): 52-56.
- [3] 高锡明, 张鹏, 贺智. 直流输电线路保护行为分析[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(14): 96-99.
- [4] 丁钊, 韩伟强. 天广直流输电系统双极运行情况总结[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 49-54.
DING Zhao, HAN Wei-qiang. Summary of Bipolar Operation Situation of Tian-Guang DC Power Transmission System[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 49-54.
- [5] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong. New Types of Protective Relaying and Fault Location: Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
- [6] 贺家李, 葛耀中. 超高压输电线路故障分析与继电保护[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
HE Jia-li, GE Yao-zhong. Fault Analysis and Protection for Ultra-High Voltage Transmission Line[M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [7] 董新洲, 葛耀中, 贺家李, 等. 输电线路行波保护的现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2000, 21(10): 56-61.
DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong, HE Jia-li, et al. Status Quo and Prospect of Travelling Waves Protection of Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 21(10): 56-61.
- [8] 邹贵彬, 高厚磊. 输电线路行波保护原理与研究现状[J]. 继电器, 2007, 35(20): 1-6.
ZOU Gui-bin, GAO Hou-lei. Study Status and Theories of Protection for Transmission Lines Based on Travelling Wave[J]. Relay, 2007, 35(20): 1-6.
- [9] 葛耀中, 董新洲, 董杏丽. 测距式行波保护的研究(一)——理论与实现技术[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(6): 34-40.
GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou, DONG Xing-li. Travelling Wave-Based Distance Protection with Fault Location — Part One, Theory and Technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(6): 34-40.
- [10] 葛耀中, 董新洲, 董杏丽. 测距式行波保护的研究(二)——原理方案与仿真试验[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 53-58.
GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou, DONG Xing-li. Travelling Wave-Based Distance Protection with Fault Location — Part Two, Scheme and Simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9): 53-58.
- [11] 天广直流输电工程直流保护系统硬件设计手册[Z]. Tian-Guang HVDC Transmission Project Hardware Design Report of DC Protection[Z].
- [12] 翟永昌. 高压直流输电系统直流保护配置的可靠性分析[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(2): 13-16.
ZHAI Yong-chang. Analysis of the Protection Credibility in HVDC Transmission System[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(2): 13-16.

收稿日期: 2007-09-01; 修回日期: 2008-06-20

作者简介:

朱韬析(1980-), 男, 硕士, 工程师, 目前从事直流输电运行维护工作; E-mail: taoxi_zhu@hotmail.com

汲广(1976-), 男, 本科, 工程师, 目前从事直流输电技术管理工作。