

一例罕见的高频保护通道故障分析

王树春, 赵志江

(嘉兴电力局, 浙江 嘉兴 314033)

摘要: 双高频保护配置在 220 kV 线路保护中得到了广泛的应用。高频保护对 220 kV 电网的安全稳定运行有着至关重要的作用。高频通道是构成高频保护不可或缺的组成部分, 高频通道运行情况的好坏直接影响高频保护的投运情况。该文通过一起非常少见的高频通道故障事例, 分析了线路改造对高频通道的影响。并且提出了利用光纤通道替代高频通道的改造思路。

关键词: 继电保护; 高频通道; 分流衰耗

中图分类号: TM773 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)06-0075-03

0 引言

目前 220 kV 电压等级以上的线路都要求配置能全线快速切除故障的保护。仅反应线路一侧的电气量不可能区分本线末端和对侧母线(或相邻线始端)故障, 只有反应线路两侧的电气量才可能区分上述两点故障。为了达到有选择性地快速切除全线故障的目的, 需要将线路一侧电气量的信息传输到另一侧去, 也就是说在线路两侧之间发生纵向的联系。这种保护称为输电线的纵联保护。

为了线路两侧(或三侧)保护能够交换信息, 就需要利用通道。纵联保护按照所利用通道的不同类型可以分为以下四种: 导引线纵联保护(简称导引线保护); 电力线载波纵联保护(简称载波保护); 微波纵联保护(简称微波保护); 光纤纵联保护(简称光纤保护)。

载波通道由于不需专门的线路初建费用和维修费用及绝缘水平高、机械强度大等优点, 在继电保护快速保护上得到广泛的应用。浙江电网 220 kV 线路保护都配备两套快速保护作为主保护, 其中绝大部分都采用电力线载波通道构成高频保护, 通道耦合方式采用相地制耦合方式。因此, 继电保护载波通道运行情况将会直接影响主保护的投运情况, 进而影响电网的安全、稳定运行。

1 一例罕见的高频通道故障^[1]

2005年6月18日嘉兴电力局线路工区对 220 kV 双山变至 220 kV 民谊变的民双 2P70 进行线路改造, 6月19日线路改造工作结束后由继电保护人员对民双 2P70 高频通道进行双侧联调, 结果发现高

频通道出现了异乎寻常的衰耗, 几乎到了无法运行的地步。

正常的高频通道的总衰耗可以由下式估算:

$$b_{\Sigma} = b_{l1} + 2(b_{2h} + b_{jh}) + b_n = K\sqrt{fl} + 2(b_{2h} + b_{jh} + b_z) + b_n \quad (1)$$

式中: b_{Σ} 为高频通道总衰耗; b_z 为终端衰耗, 一般 220 kV 电压等级取 1.30 dB; b_{l1} 为高频通路衰耗, 220 kV 线路一般取 $6.5\sqrt{fl} \times 10^{-3} + 2.6$ (dB); b_{2h} 为一端阻波器的分流衰耗, 一般取 0.87 dB; b_{jh} 为一端结合滤波器衰耗(包括耦合电容器), 一般取 1.30 dB; b_n 为两端高频电缆衰耗, n 为高频电缆衰耗常数(可以查手册得到); l_n 为两侧高频电缆总长度; f 为工作频率(kHz); l 为线路总长度(km)。

由式(1)估算得到的衰耗在 12 dB 左右, 而通道上出现 20 dB 的衰耗, 超出了正常变动的范围。经通道联调发现民双 2P70 高频通道故障后, 继电保护检修人员分别对双山变、民谊变两侧的单侧高频通道进行调试, 发现本侧的通道(收发信机出口至结合滤波器)均正常, 检查耦合电容器也未发现异常。由于本次工作仅为线路改造, 变电站内设备没有改动, 因此怀疑高频通道故障是线路改造引起的。

2 民双 2P70 高频通道故障分析和处理^[2~4]

经与线路改造工作人员核实, 作者发现此次线路改造与平时的线路改造有所不同。图 1 所示为 2P70 改造前后对比情况。由于退役线路暂时还未安排拆除, 故在 T2 塔处 c_2 d_2 引流线拆除, b_1 b_2 处临时搭通。这样 b_2 c_2 就构成了在靠近双山变侧线路一段末端开路、长度约 316 m 的分支线。作者怀疑

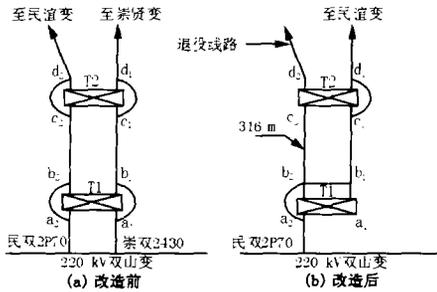


图 1 2P70线路改造示意图

Fig 1 Schematic diagram for reformation of line 2P70

是这段分支线造成高频通道故障,下面就这段分支线的影响进行分析,供广大继电保护同行参考。

分支线示意图及等值电路图如图 2所示。

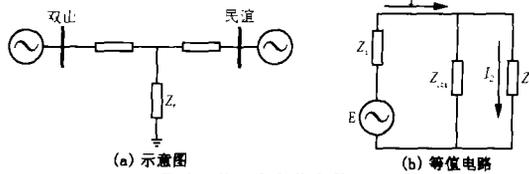


图 2 分支线示意图

Fig 2 Schematic diagram for branch line

图 2中 Z_i 为收发信机等值内阻抗, E 为收发信机等值电势, Z_{ibr} 为分支线的输入阻抗, Z_c 为输电线路特性阻抗, Z_f 为分支线负荷阻抗。

根据分流衰耗的定义: $b_{di} = 10 \lg \frac{P}{P'}$, 其中 P 为无分支线 ($Z_{ibr} = \infty$) 时 Z_c 上所得到的功率, P' 为有分支线后 Z_c 上所得到的功率。由图 2(b)可得:

$$b_{di} = 20 \lg \left(1 + \frac{Z_i Z_c}{Z_{ibr} Z_i + Z_{ibr} Z_c} \right) \quad (2)$$

由电工理论可得分支线输入阻抗为:

$$Z_{ibr} = \frac{Z_f \operatorname{ch} \gamma l_{br} + Z_c \operatorname{sh} \gamma l_{br}}{\operatorname{ch} \gamma l_{br} + \frac{Z_f}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma l_{br}} = \frac{Z_f + Z_c \operatorname{th} \gamma l_{br}}{Z_c + Z_f \operatorname{th} \gamma l_{br}} Z_c \quad (3)$$

其中: γ 为高频信号传播常数, l_{br} 为分支线长度, Z_f 为分支线负荷阻抗。

假设收发信机阻抗与线路特性阻抗匹配 (即 $Z_i = Z_c$), 忽略线路衰耗 (即 $\gamma = j$)。而 $\gamma l_{br} = \frac{2\pi f l_{br}}{v}$,

则 $\operatorname{th} \gamma l_{br} = j \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v}$, 则分支线输入阻抗可简化为:

$$Z_{ibr} = \frac{Z_f + j Z_c \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v}}{Z_c + j Z_f \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v}} Z_c \quad (4)$$

分支线引起的分流衰耗为:

$$b_{di} = 20 \lg \left| 1 + \frac{Z_c}{2 Z_{ibr}} \right| = 20 \lg \left| 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{Z_c + j Z_f \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v}}{Z_f + j Z_c \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v}} \right| \quad (5)$$

当分支线末端开路 ($Z_f = \infty$) 时, 分流衰耗进一步简化为:

$$b_{di} = 20 \lg \left| 1 + j \frac{1}{2} \tan \frac{2\pi f l_{br}}{v} \right| = 10 \lg \left(1 + \frac{1}{4} \tan^2 \frac{2\pi f l_{br}}{v} \right) = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} \tan^2 \frac{2\pi f l_{br}}{v} \right] \Big|_{v=f} \quad (6)$$

式中: v 为高频信号在线路中的传播速度 (约等于电磁波在真空中的传播速度), f 为高频信号的工作频率。

民双 2P70分支线引起的分流衰耗随工作频率的变化情况如图 3所示。

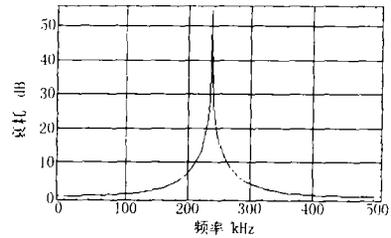


图 3 分支线分流衰耗变化图

Fig 3 Chart of diffuence attenuation from branch by frequency

从图 3可以看到 2P70的 A、B相高频通道频率分别为 234 kHz、202 kHz, 恰好处于分流衰耗很大的频段。处理方案有以下三种:

- 1) 拆除分支线。
- 2) 在分支点装设阻波器。
- 3) 改变通道工作频率。

第一种方案是最彻底的解决方案, 但由于退役线路暂时无法拆除以及停电原因, 暂时无法实行。第二种方案由于需要停电且阻波器装设很困难, 也不太可能实现。只有第三种方案是目前较为妥当的办法。经省调允许, 将通道频率由 234 kHz、202 kHz 分别改为 374 kHz、314 kHz 后, 2P70高频通道恢复正常。

3 高频通道改造的设想^[5~8]

虽然高频通道在高频保护正确动作中立下了“汗马功劳”, 为电网的稳定运行作出过重要的贡

献。但是也不可否认存在一些较难克服的缺点:

1) 通道故障率高。根据不完全统计,嘉兴电网 1999~2005年平均每年发生线路阻波器调谐元件损坏 1.5 台次以上。

2) 线路阻波器检修、维护需要线路停运。调谐元件的检查、更换都需要将线路停运,目前还没有有效的线路阻波器在线监测手段。

3) 很难实现高频通道的实时监测。一般目前嘉兴电网的 220 kV 线路高频保护都由运行人员每天进行一次通道交换,因此通道发生故障而不被发现的时间最长可达 24 h。

4) 抗干扰性能差。绝缘子放电、开关设备操作、雾天等都会在高频通道上产生噪音干扰,甚至导致高频通道无法运行。

目前嘉兴电网的所有 220 kV 变电站都已构成了光纤环网,如果能够利用现有的光纤通道代替高频通道不失为一个很好的解决方案。当前嘉兴电力局保护利用光纤的形式主要有图 4 中所示的两种。共建变至南湖变和瓦山变两回 220 kV 线路就采用专用光纤通道的方式,至今运行情况良好。

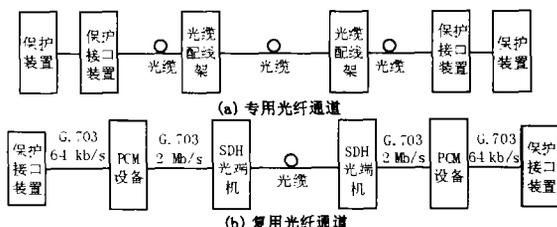


图 4 保护利用光纤通道现状

Fig 4 Existing applications of optical fiber for protective relays

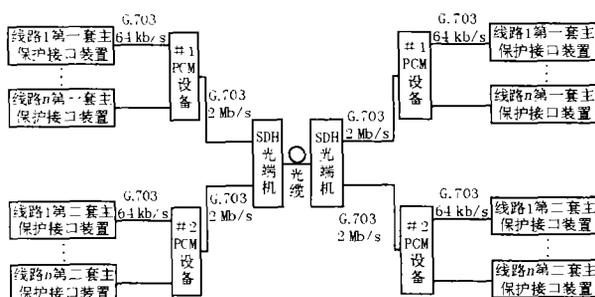


图 5 冗余配置的保护用光纤通道

Fig 5 Redundant configuration of optical fiber channel

图 4(a)中的应用方式采用专用光纤,通道资源浪费严重,大规模采用不太可能。作者认为图 5 中的通道配置方案既能充分利用通道资源,又考虑了保护通道的冗余度(如果有条件实现两套光端机更佳),是 220 kV 变电站载波通道改造中一种较为可行的方案。

4 结束语

线路中如果出现分支时应正确处理,否则会造成高频通道故障,因此在此类问题的处理上各专业应互相沟通,及时研究对策。在有高频通道线路的设计、改造工作中,应尽量避免分支线的出现,确实无法避免地应在分支点加装线路阻波器或者改变通道工作频率,降低分流损耗。

利用现成的光纤通道代替高频通道,可以大大提高高频保护的抗干扰性能。由于光纤通道不需要线路阻波器,因此也解决了阻波器调谐元件损坏必须停电处理的难题。而且光纤通道工况可以实现在线实时监测,提高了保护纵联通道的可靠性。这种纵联通道方式在系统中已经得到实际的应用,取得了良好的效果,是一种值得推广的应用方式。

参考文献:

- [1] 黄根祥. 继电保护高频通道 [M]. 北京:水利电力出版社, 1989.
HUANG Gen-xiang PLC Channel for Relay Protection [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.
- [2] 继电保护组. 继电保护高频通道调试运行技术 [Z]. 杭州:浙江省电力试验研究所, 1983.
Protective Relay Group. Tuning and Applying PLC Channel for Protective Relays [Z]. Hangzhou: Zhejiang Electric Power Test & Research Institute, 1983.
- [3] 邱关源. 电路 [M]. 北京:高等教育出版社, 1999.
QIU Guan-yuan Electric Circuit [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护使用技术问答 (第二版) [M]. 北京:中国电力出版社, 2000.
State Power Dispatching and Communication Center Practical Technology on Relaying Protection of Electric Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [5] 吴①东,等. 500 kV 输电线路保护通道的改进 [J]. 电力系统通信, 2002, (9): 20-21.
WU Xi-dong, et al Studies of 500 kV Line Protection Channel [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2002, (9): 20-21.
- [6] Working Group H9 of the IEEE Power System Relaying Committee. Special Considerations in Applying Power Line Carrier for Protective Relaying [R]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004.
- [7] Working Group H9 of the IEEE Power System Relaying Committee. Digital Communication for Relay Protection [R]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004.

(下转第 84 页 continued on page 84)

- Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering, 2002, 22(4): 1-5.
- [39] XU Dong-jie, HE Ren-mu, WANG Peng, et al Comparison of Several PMU Placement Algorithms for State Estimation[A]. 2004 Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection 2004. 32-35.
- [40] 赵红嘎, 薛禹胜, 汪德星, 等. 计及 PMU 支路电流相量的状态估计模型[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 37-40.
ZHAO Hong-ga, XUE Yu-sheng, WANG De-xing, et al State Estimation Modal with PMU Current Phasor Measurements[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(17): 37-40.
- [41] 王克英, 穆钢, 韩学山, 等. 使潮流方程直接可解的 PMU 配置方案研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(10): 14-16.
WANG Ke-ying, MU Gang, HAN Xue-shan, et al Placement of Phasor Measurement Unit for Direct Solution of Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(10): 14-16.
- [42] 王克英, 穆钢, 陈学允. 同步相量测量技术在潮流计算中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(4): 1-3.
WANG Ke-ying, MU Gang, CHEN Xue-yun The Application of Phasor Measurement Units in Power Flow[J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12(4): 1-3.
- [43] Rehtanz C, Bertsch J. Wide Area Measurement and Protection System for Emergency Voltage Stability Control[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002. 842-847.
- [44] CHEN Ching-shan, LIU Chih-wen, JIANG Joe-air A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed/untransposed Parallel Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2): 395-404.
- [45] FAN Chun-ju, LI Sheng-fang, YU Wei-yong, et al Study on Adaptive Relay Protection Scheme Based on Phase Measurement Unit(PMU) [A]. Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection 2004. 36-39.

收稿日期: 2005-08-09; 修回日期: 2005-09-06

作者简介:

丁剑(1977-),男,博士研究生,研究方向为电力系统故障诊断、人工智能、电网动态安全; E-mail: djnailsky@yahoo.com.cn

白晓民(1951-),男,博士生导师,副总工程师,研究方向为电力系统分析、电网动态安全;

王文平(1973-),男,博士,研究方向为 EMS/DMS 及人工智能警报系统。

Overview of application researches based on synchronous data measured by PMUs in power system

DING Jian, BAIXiao-min, WANG Wen-ping, ZHAO Wei, FANG Zhu

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: The technology of synchronized phasor measurement makes it possible that monitoring and controlling dynamic characteristics of grids synchronously, which will greatly facilitate the research advancements of related applications in power systems. The development and the applications of synchronized phasor measurement technology and wide-area measurement system (WAMS) are briefly described. The focus of the paper is the detailed advancements of the various application researches based on the measurement of the synchronized phasor measurement units (PMUs) in system dynamics field where damping control, transient stability analysis and control, voltage stability and separation control are included, system steady state field where parameter measurement of lines, state estimation and power flow calculation are included and relay protection field. The features, advantages and defects of these application researches are also presented respectively.

This project is supported by the National Basic Research Program (973 Program) (No. 2004CB217904).

Key words: phasor measurement unit (PMU); synchrophasor measurement technology; wide-area measurements system (WAMS); system dynamics; system steady state; relay protection

(上接第 77 页 continued from page 77)

- [8] Ward S, Dahlin T, Ince B. Pilot Protection Communication Channel Requirements[A]. 57th Annual Conference on Protective Relay Engineer, 2004.

作者简介:

王树春(1977-),男,工程师,从事继电保护检修管理工作; E-mail: wscy2k@sina.com.cn

赵志江(1963-),男,助理工程师,从事变电站设备检修管理工作。

收稿日期: 2005-07-12

Analysis of a rare case of PLC channel failure

WANG Shu-chun, ZHAO Zhi-jiang

(Jiaxing Electric Power Bureau, Jiaxing 314033, China)

Abstract: Dual redundant pilot protection configuration for 220 kV line has become a standard configuration in some power systems. PLC channel aided pilot protection is the most popular one. PLC channel is vital in such scheme. In or out of service state of the channel decides that of the relay. This paper analyses a rare case of PLC channel failure and presents an alteration from HF channel to optic fiber channel for pilot protection.

Key words: relay protection; HF channel; diffidence attenuation