

光纤通道延时不一致对差动保护的影响

张兆云, 刘宏君, 俞伟国

(国网电力科学研究院/深圳南瑞科技有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 提出了三端差动保护中三端的同步方法, 重点阐述了光纤通道双向延时差的计算方法。在计算了延时差之后, 详细分析了单条通道延时不一致和两条通道不一致对差动保护的具体影响, 得出结论: 三端差动保护中由于存在冗余通道, 可以检测部分光纤双向延时不一致的情况, 提高保护的可靠性。

关键词: 三端差动保护; 通道延时不一致; 同步

Influence of different fiber channel delay on differential protection

ZHANG Zhao-yun, LIU Hong-jun, YU Wei-guo

(State Grid Electric Power Research Institute/Shenzhen NARI Technologies Co. Ltd, Shenzhen 518057, China)

Abstract: The paper discusses synchronization methods in T-line differential protection, and focuses on how to calculate the delay difference of optical fibre channel. After the delay difference is calculated, it analyzes the influence of single-channel different delay and two-channel different delay. The conclusion is that T-line differential protection can detect the different delay and improve the reliability of protection because of redundant channels.

Key words: T-line differential protection; different delay; synchronization

中图分类号: TM73; TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)14-0156-04

0 引言

随着光纤通信技术的日益成熟, 基于光纤通道的两端电流差动保护在电力系统得到非常广泛的使用。由于T接线路具有经济性好、建设周期短、节约土地等优点, 在高压系统中的应用越来越多。而T接线路常常联系着大电厂和大系统, 发生故障后要求保护能够快速动作。光纤电流差动保护无疑是该类线路最理想的保护, 三端差动保护的运用也将更加广泛。

光纤差动保护的双向通道延时不一致, 保护将出现差流, 甚至引起误动^[1-2]。因而为了避免保护的误动, 在通信组网时要求通道双向延时严格一致。是否有办法检测双向通道延时不一致呢? 对于常规的单通道双端线路差动保护来说, 结论无疑是否定的。但三端差动保护能否检测出某条通道双向延时不一致呢? 对于目前部分电网使用的双通道保护装置呢? 本文将通过理论分析就此给出明确的结论。

1 三端差动的应用现状

三端差动的光纤连接图如图1所示^[3]。

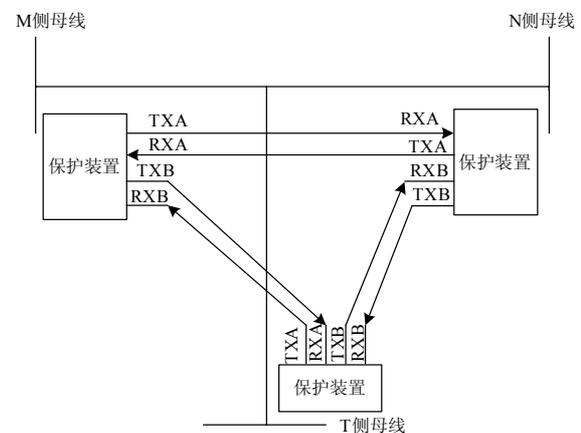


图1 三端差动光纤连接图

Fig.1 System chart of T-line differential protection

三端差动保护装置之间的同步方案: 选择其中某一端为参考端, 设为M, 其余两端为同步端, 分别记为S1和S2。同步端和参考端之间利用乒乓原理进行同步, 根据同步端之间是否有光纤通道可以分为两种工作方式。

1.1 两通道工作方式

两通道方式下, 也就是两个同步端之间无光纤通道, 因而同步端之间无数据交换。参考端接收到两个同步端的交流量数据和启动信息, 进行差动保护的计算; 如果三端的启动元件均动作, 同时满足差动保护动作条件, 则参考端差动保护动作; 同时通过远跳方式联跳两个同步端的相应相别。该方式优势是光纤通道少, 且可方便扩展到三端以上的差动保护。

1.2 三通道工作方式

三通道工作方式, 也就是两个同步端之间有光纤通道, 因而两个同步端可以实时交换数据, 这些数据既包括交流信息, 也包括控制信息和同步信息。三通道工作方式下任何一端装置都可以收到另外两端保护装置的交流量信息, 因而任何一侧保护装置都可独立完成差动保护; 在故障时, 同步端可以独立计算, 在自身差动判据满足且另外两端的启动元件动作的前提下保护跳闸, 而不依赖于参考端的远跳功能。该方式的优点是保护可靠性高; 同时该方式下, 如果某条光纤中断或误码率过高时则可自动切换到两通道工作方式。

2 三端差动中采样同步

三端差动保护中规定一侧为参考端, 即主机 (M); 另外两侧为同步端, 即从机 (S1 和 S2)。

2.1 参考端和同步端之间同步原理

三端差动保护装置参考端 M 和同步端 S1 和 S2 之间的采样同步基于采样时刻调整法, 俗称乒乓原理^[4-6]。参考端的采样间隔固定。如图 2 所示, 假设两侧采样不同步, 从机较主机提前 t_c 。T 为采样周期, t_{sm} 为从机发送报文到主机的通道延时, t_{ms} 为主机发送报文到从机的通道延时; T_m 为主机收到从机报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差; T_s 为从机收到主机报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差。则有:

$$t_{sm} = T_m + n_1 T + t_c \quad (1)$$

$$t_{ms} = T_s + n_2 T - t_c \quad (2)$$

则有:

$$t_c = \frac{T_s - T_m}{2} + \frac{t_{sm} - t_{ms}}{2} - \frac{n_1 - n_2}{2} T \quad (3)$$

a) 若光纤通信来回通道一致时, 则通道延时是一定的, 则有 $t_{sm} = t_{ms}$ 、 $n_1 = n_2$, 则有

$$t_c = \frac{T_s - T_m}{2} \quad (4)$$

当从机计算出 t_c 后, 将采样时刻调整 t_c , 则主

从采样同步。

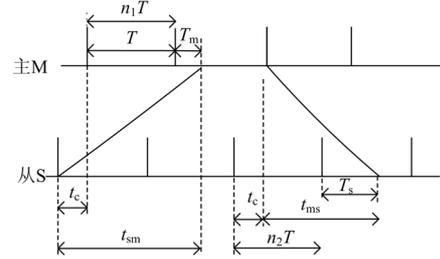


图2 采样时刻调整法

Fig. 2 Sampling-instant adjustment method

b) 若光纤通信来回通道不一致时, 则双向延时不同, 即 $t_{sm} \neq t_{ms}$, 则理论上无法计算出 t_c 。按照乒乓原理中, 主装置和从装置之间总是以 $t_c = 0$ 为调整成功。即:

$$t_c = \frac{T_m - T_s}{2} - \frac{n_1 - n_2}{2} T = 0 \quad (5)$$

参照式 (3) 可知, 此时两侧装置电流采样的时差 (S 超前 M 的时间) 为:

$$\Delta t = \frac{t_{sm} - t_{ms}}{2} \quad (6)$$

式 (6) 表明, 当通道收发路径不一致时, 因时差造成两侧不同步的相位差为 $\omega \Delta t$ 。

2.2 同步端之间的时差测量

根据乒乓原理, 参考端和同步端 S1 和 S2 之间分别完成了同步, 如图 3 所示。

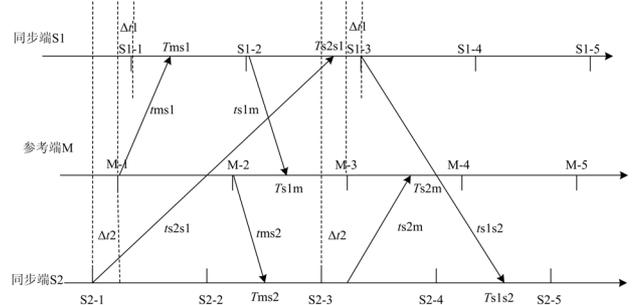


图3 三端差动采样时刻调整法

Fig.3 Sampling-instant adjustment method of T-line

图 3 中:

参考端 M 数据传输到同步端 S1 的延时为 t_{ms1} , 从机 S1 收到主机 M 报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差为 t_{sm1} ;

同步端 S1 数据传输到参考端 M 的延时为 t_{s1m} , 主机 M 收到从机 S1 报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差为 t_{s1m} ;

参考端 M 数据传输到同步端 S2 的延时为 t_{ms2} , 从机 S2 收到主机 M 报文的时刻与本装置上一次采

样时刻之间的时间差为 t_{ms2} ；

同步端 S2 数据传输到参考端 M 的延时为 t_{s2m} ，为主机 M 收到从机 S2 报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差为 t_{s2m} ；

同步端 S1 数据传输到同步端 S2 的延时为 t_{s1s2} ，从机 S2 收到从机 S1 报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差为 t_{s1s2} ；

同步端 S2 数据传输到同步端 S1 的延时为 t_{s2s1} ，从机 S1 收到从机 S2 的报文的时刻与本装置上一次采样时刻之间的时间差为 t_{s2s1} 。

S_{2-5} 为同步端 S2 当前的采样序号，同时 S_{1-3} 为当前时刻收到从机 S1 最新数据的采样序号； S_{2-1} 为从机 S1 在 S_{1-3} 时刻收到的从机 S2 最新数据的采样点序号。

同步端 S1 和同步端 S2 分别和参考端 M 同步，根据式 (6) 可知同步之后：

$$\text{同步端 S1 采样超前参考端 } \Delta t_1 = \frac{t_{s1m} - t_{ms1}}{2},$$

$$T_{ms1} = T_{s1m};$$

$$\text{同步端 S2 采样超前参考端 } \Delta t_2 = \frac{t_{s2m} - t_{ms2}}{2},$$

$$T_{ms2} = T_{s2m}。$$

定义同步端 S2 计算的双向延时差为：

$$\Delta t = (T_{s1s2} + (S_{2-5} - S_{1-3}) \cdot T) - (T_{s2s1} + (S_{1-3} - S_{2-1}) \cdot T) \quad (7)$$

式 (7) 中含有 S_{2-5} 、 S_{2-1} 、 S_{1-3} 、 T_{s1s2} 、 T_{s2s1} 等五个变量。任何一个采样点中，这五个变量都是确定的，因而上述的双向延时差是可以测量的。同时，上述变量是重要的同步信息，在保护中和交流量信息打包一起发送，因而时差的计算和保护的计算是同时的。

同时从图 3 可知：

$$T_{s1s2} + (S_{2-5} - S_{1-3}) \cdot T = t_{s1s2} - (\Delta t_1 - \Delta t_2) \quad (8)$$

$$T_{s2s1} + (S_{1-3} - S_{2-1}) \cdot T = t_{s2s1} + (\Delta t_1 - \Delta t_2) \quad (9)$$

将式 (8)、(9) 代入式 (7) 得到：

$$\Delta t = \frac{t_{s1s2} + t_{s2m} + t_{ms1}}{2} - \frac{t_{s1m} + t_{ms2} + t_{s2s1}}{2} \quad (10)$$

通过式 (7) 可以准确地测量出 Δt ，通过式 (10) 可以看出 Δt 从物理意义可以看作是同步端 S1 依次经过参考端 M，同步端 S2 后环回的通道延时和依次经过同步端 S2、参考端 M 环回的通道延时的时间差。

3 同步端间计算时差的应用

三通道工作方式下两同步端之间可以利用式(7)准确计算出两者传输时差 Δt ，该时差反应了光纤通信系统的双向延时不一致情况。时差的计算和保护判据的计算同时进行，任何一个采样点都可以准确地计算出时差。当该时差大于预定门槛值，两侧电流的角度误差也将达到了一定门槛，需要闭锁差动保护，以防止保护误动作或者误发信。

3.1 单条通道延时不一致对保护的影响

如果在系统中出现单条通道延时不一致的情况。双向延时不一致的通道可能出现在参考端和同步端之间，也可能出现在两个同步端之间。

如果同步端和参考端之间出现双向延时不一致的，可假设 $t_{s1s2} = t_{s2s1}$ 、 $t_{s2m} = t_{ms2}$ ， $t_{s1m} \neq t_{ms1}$ ，根据乒乓原理，同步后如图 3 所示。参考端 M 和同步端 S2 完全同步，参考端 M 和同步端 S1 之间采样点存在的时差为 $\Delta t_{ms1} = \frac{t_{s1m} - t_{ms1}}{2}$ ，从而同步端 S1 和 S2 之间的计算时差为 $\Delta t = \frac{t_{s1m} - t_{ms1}}{2}$ 。

如果同步端 S1 和同步端 S2 之间出现双向延时不一致的，即 $t_{s1s2} \neq t_{s2s1}$ 、 $t_{s2m} = t_{ms2}$ ， $t_{s1m} = t_{ms1}$ ，那么根据乒乓原理，参考端 M、同步端 S1 和同步端 S2 三者采样均完全同步，但是 S1 和 S2 之间的计算时延 $\Delta t = \frac{t_{s1m} - t_{ms1}}{2}$ 。

通过上述分析，有且仅有一条通道发生双向传输延时不一致时，三端差动保护的同步端之间始终存在时差，且可通过式 (7) 准确计算。该时差反应了光纤通道双向传输延时不一致程度。当该计算时差大于门槛时，需要闭锁差动保护，防止差动保护因为通道延时不一致引起差动保护误动。

3.2 两条通道延时不一致对保护的影响

两条通道出现路由不一致的分析方法和单条通道不一致的分析方法完全一致。假设参考端 M 和同步端 S1、同步端 S2 之间的来回时间均不一致，同步端 S1 和同步端 S2 之间的延时一致，也就是 $\Delta t_1 = t_{s1m} - t_{ms1} \neq 0$ ， $\Delta t_2 = t_{s2m} - t_{ms2} \neq 0$ ， $t_{s1s2} = t_{s2s1}$ 。

那么计算的时差是： $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ 。如果该时差小于预先设定的门槛，则表示尽管存在双向延时不一致的情况，保护装置无法通过现有判据进行检测，保护将继续投入运行；当该值大于一定门槛，需要闭锁差动保护。

特别的当 $\Delta t_1 = -\Delta t_2$ 时, $\Delta t = 0$, 表示虽然有两个通道出现了双向延时不一致, 但是通过现有的计算判据无法检测出该种不一致情况。在 $\Delta t_1 = -\Delta t_2$ 的情况下, 如果将同步端 S2 和参考端 M 之间的收发通道交换, 那么交换后的系统的 $\Delta t'_1 = \Delta t_1$, $\Delta t'_2 = -\Delta t_2 = \Delta t_1$, 从而两个同步端之间计算时差是: $\Delta t = 2\Delta t_1 \neq 0$ 。可见相同的通信系统, 改变某个通道的收发, 将引起计算时差的不同。

3.3 时差和双向延时不一致的关系

通过上述分析可知, 三通道工作方式下, 两个同步端之间存在计算时差则表明通信中必定存在双向延时不一致的环节; 而计算时差为 0 或者很小, 并不能说明系统中不存在路由不一致的环节。因而存在时差是存在双向延时不一致的充分但不必要条件。

当系统中最多只有一条通道存在双向延时不一致的情况下, 存在时差则表明系统中存在路由不一致的环节; 而不存在时差则表明系统中的三个通道的双向延时基本一致。也就是在只考虑最多一个通道双向延时不一致的情况下, 存在时差是存在双向延时不一致的充分必要条件。

4 结论

三通道工作方式中, 存在冗余通道(同步端间光纤通道), 冗余通道不仅实时传递保护需要的交流量信息, 还实时传递重要的控制信息和同步信息, 利用冗余通道的同步信息按照式(7)可以时刻准确计算出双向延时的时间差, 当时间差大于一定门槛时闭锁差动保护, 从而避免光纤通道双向延时不一致引起差动保护误动。而在两通道工作方式下, 由于两个同步端之间无信息交换, 因而也无法计算出双向通道延时差, 此时若通道延时差增加到一定程度将引起保护装置的误动。这也是三端差动中三通道方式优于两通道方式的重要体现。

三通道工作方式下冗余通道的存在, 使得检测双向通道延时不一致成为可能。同样基于通道冗余检测差动保护光纤通道收发路由不一致的方案也可以两端差动保护。单通道的差动保护无法检测双向通道延时差, 但是若增加一条冗余通道, 成为双通道的保护装置, 则可检测单条通道双向延时不一致。双通道保护装置中, 一般认为最优通道为主通道, 冗余通道为备用通道; 运行过程中两个通道都独立地传送交流量信息、控制信息和同步信息; 当某通道中断或误码率高, 则利用另外通道的信息进行采

样同步以及保护计算; 如两个通道都正常, 则利用主通道的同步信息进行采样调整, 同时利用备用通道的同步信息按照式(7)计算双向延时差, 若时差过大则说明至少有一个通道的双向延时过大, 从理论上无法知晓双向延时不一致的是主通道还是备用通道, 因而从提高差动保护的可靠性的角度出发, 闭锁差动保护, 以防止主通道双向延时不一致引起保护误动。这也是双通道差动保护的一个优点。

参考文献

- [1] 刘宏君, 张兆云, 李辉. 光纤通道路径不一致对线路差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(12): 52-55.
LIU Hong-jun, ZHANG Zhao-yun, LI Hui. Influence of the fibre route with difference on line differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(12): 52-55.
- [2] 秦文萍, 郝永晶, 刘毅敏. 通信通道时延对微机保护装置的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(7): 58-62, 75.
QIN Wen-ping, HAO Yong-jing, LIU Yi-min. Influence of communication channel time delay on microcomputer-based relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(7): 58-62.
- [3] 雷振锋, 李旭, 倪传昆, 等. 关于 T 接线路差动保护应用的特殊问题探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 57-59, 64.
LEI Zhen-feng, LI Xu, NI Chuan-kun, et al. Discussing some special problems about application of teed line differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 57-59, 64.
- [4] 高厚磊, 江世芳, 贺家李. 数字电流差动保护中几种采样同步方法[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(9): 46-49, 53.
GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li. Sampling dynchronization methods in digital current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(9): 46-49, 53.
- [5] 许建德, 陆以群. 新型数字电流差动保护装置中的数据采样同步和通信方式[J]. 电力系统自动化, 1993, 17(4): 23-26.
XU Jian-de, LU Yi-qun. A new scheme of sampling synchronization & communication for digital current differential relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 1993, 17(4): 23-26.
- [6] 张怿宁, 索南加乐, 焦在滨. 光纤自愈环网电流纵差保护的数据同步方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(9): 44-49.

(下转第 164 页 continued on page 164)

现目前控制策略仍存在一些问题:

由于直流开关的断弧能力有限,在特高压直流输电中,大部分直流开关都并联有一个谐振回路。开关拉弧过程中,谐振回路会产生振荡,使直流电流过零,最终完成开关断开操作。在云广直流工程中,旁路开关两侧没有并联谐振回路,所以在在大电流情况下不应允许手动打开旁通开关。目前的阀组旁路开关的控制逻辑中,并未加入大电流闭锁手动操作联锁条件,对运行存在安全威胁。目前该问题已得到西门子厂家认可,将在后续工作中完善软件设计。

5 结语

通过上述对阀组旁路开关的控制策略的分析及仿真试验可以得出如下结论:

- 1) 云广工程的阀组旁路开关控制策略总体上比较完善,可以满足特高压直流输电工程对于阀组解闭锁的要求。
- 2) 不同的阀组运行方式对阀组旁路开关的状态要求和控制策略是不同的。
- 3) 采用目前的阀组旁路开关控制策略在阀组解闭锁过程中会造成直流电流的短时振荡。
- 4) 阀组旁路开关控制策略中的手动联锁逻辑存在缺陷,在后续的软件设计中需要完善。

参考文献

[1] 中国南方电网公司. ± 800 kV直流输电技术研究[M]. 北京:中国电力出版社,2006:2-60.
China Southern Power Grid. Investigation on ± 800 kV UHVDC transmission technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006: 2-60.

[2] 伍文城,李新,丁君,等.云广 ± 800 kV直流输电工程输电容量探讨[J].电力设备,2006,7(5):27-30.
WU Wen-cheng, LI Xin, DING Jun, et al. Discussion on transmission capacity of ± 800 kV Yunnan-Guangdong

UHVDC power transmission project[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(5): 27-30.

[3] 袁清云.特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2005,29(14):6-9.
YUAN Qing-yun. Present state and application prospect of Ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 6-9.

[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].继电器,2007,35(16):32-37.
CHEN Qian, ZHANG Yao, ZHONG Qing, et al. Simulation of ± 800 kV UHVDC system under different operation modes[J]. Relay, 2007, 35(16): 32-37.

[5] 舒印彪,刘泽洪,高理迎,等. ± 800 kV 6400 MW特高压直流输电工程设计[J].电网技术,2006,30(1):1-8.
SHU Yin-biao, LIU Ze-hong, GAO Li-ying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8.

[6] 舒印彪,刘泽洪,袁骏,等.2005年国家电网公司特高压输电论证工作综述[J].电网技术,2006,30(5):1-12.
SHU Yin-biao, LIU Ze-hong, YUAN Jun, et al. A survey on demonstration of UHV power transmission by State Grid Corporation of China in the year of 2005[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 1-12.

[7] 刘振亚.特高压直流输电技术研究成果专辑(2005年)[M].北京:中国电力出版社,2006.

收稿日期:2009-08-31

作者简介:

张志朝(1980-),男,工程师,硕士研究生,从事特高压直流输电系统研究及运行维护工作;E-mail: epzczhang@126.com

王海军(1977-),男,本科,工程师,主要从事高压直流输电系统研究及检修维护工作。

(上接第159页 continued from page 159)

收稿日期:2009-10-13; 修回日期:2010-01-12

作者简介:

张兆云(1977-),男,硕士研究生,工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究;

E-mail: zhangzhaoyun@sina.com

刘宏君(1974-),男,硕士研究生,高级工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究;

俞伟国(1984-),男,硕士研究生,工程师,从事电力系统继电保护和数字化变电站的研究。