

# 光纤通道路径不一致对线路差动保护的影响

刘宏君, 张兆云, 李辉

(深圳南瑞科技有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 光纤分相电流差动保护依赖光纤通道。光纤通道的来回路由时间直接影响差动保护的性能。推出基于采样时刻调整法同步的光纤差动的同步相差与光纤通道来回路由时间差的关系, 并分析光纤通道收发路由不一致时, 差动保护在区外故障和区内故障的动作行为, 得出在通道来回路由不一致的时间差在 5 ms 以内时, 选择合适的差动制动系数完全可以使用。文章还给出了两种新的差动保护解决方案来适应光纤路径的不一致: 在差动保护中增加 GPS 同步法和增加允许式纵联距离。

**关键词:** 线路差动保护; 光纤; 通道; 继电保护

## Influence of the fibre route with difference on line differential protection

LIU Hong-jun, ZHANG Zhao-yun, LI Hui

(Shenzhen NARI Technologies Co., Ltd, Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** The line differential protection relies on optical channel. The differential time of the receiving route and the sending route directly influences the performance of differential relay. The paper illustrates the relationship between the differential time of the transmission channel and the differential phasor of synchronization. It analyses the differential relay's performance of internal fault and external fault when the fibre route of sending and receiving is not equal. And it acquires that the line differential relay can be used in the differential time of the come-and-go transmission less than 5ms if the bias coefficient is rational. Finally, the paper gives two methods to solve the problem. It is to add GPS synchronization or POTT in the line differential protection.

**Key words:** line differential protection; optic; channel; relay protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)12-0052-04

## 0 引言

随着通信技术的发展, 光纤在电力系统中应用越来越广泛。线路光纤分相电流差动保护因其原理简单、且不受系统振荡、弱馈等运行方式的影响, 逐步成为了电力系统中电力线的主要保护。影响光纤分相电流差动保护性能的一个重要指标是光纤通道的通道延时。若通道的收发路径不一致会导致在系统正常运行时, 差动保护检测到有差流, 严重时导致保护装置误跳闸。因而, 在使用光纤差动保护时, 运行部门要求光纤路由一致。在使用光纤直接连接方式时, 来回路由一致是满足的。使用复接方式到 SDH 网时, 情况就比较复杂。在光纤网的建设中, 大多采用 SDH 自愈环网。自愈环网的好处是通道故障的情况下, 自愈环网自动切换, 保证通讯的可靠性。自愈环网的通道切换导致光纤差动保护来回通道路径不一致, 不符合运行的要求。

本篇在介绍光纤自愈网和差动采样调整的基础上, 阐明光纤通道路径不一致对差动保护的影响, 并提出合适的解决方案。

## 1 自愈环网

由于具有共享带宽和提高存活性的特点, 光纤通信中环型网络体系结构得到广泛的应用。自愈环就是一种环形网络体系结构。SDH 自愈环体系结构可分为双向自愈环和单向自愈环。对二芯光纤的自愈环网, 主要有四种方式: (1) 二纤单向通道切换环; (2) 二纤双向通道切换环; (3) 二纤单向复用段倒换环; (4) 二纤双向复用段倒换环。

表1反映了几种典型方式的二芯自愈环网在通道正常运行以及通道故障发生通道切换后的收发路由关系。

从表1可知, 二纤单向通道切换环和二纤单向复用段倒换环在正常时, 收发路由不一致, 差动保护

不能使用。只有二纤双向通道切换环在通道切换前后, 通道来回路由一致。

表1 自愈环网的路由时间

Tab.1 Transmission delay of SHR

二纤单向通道切换环	来回不同	来回不同
二纤双向通道切换环	来回一致	来回一致
二纤单向复用段倒换环	来回不同	来回不同
二纤双向复用段倒换环	来回一致	来回不同

## 2 基于采样时刻调整法的采样同步

目前国内使用的基于光纤通道的分相电流差动保护装置的采样同步基本都采用基于采样时刻调整法<sup>[1,3]</sup>, 俗称乒乓原理。采用乒乓原理的差动保护总是规定一侧的保护为主机(M), 另一侧为从机(S)。如图1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,  $T_d$ 为从机发送报文到主机的通道延时,  $t_d$ 为主机发送报文到从机的通道延时;  $T_m$ 为主机收到从机发送的报文的时刻与本装置下一次采样时刻之间的时间差;  $T_s$ 为从机收到主机发送的报文的时刻与本装置下一次采样时刻之间的时间差。则有:

$$T_m = n_1 T + t_c - T_d \quad (1)$$

$$T_s = n_2 T - t_c - t_d \quad (2)$$

则有:

$$t_c = \frac{T_m - T_s}{2} + \frac{T_d - t_d}{2} - \frac{n_1 - n_2}{2} T \quad (3)$$

a) 若光纤通信来回通道一致时, 则通道延时是一定的, 则有  $T_d = t_d$ 、 $n_1 = n_2$ , 则有

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

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。

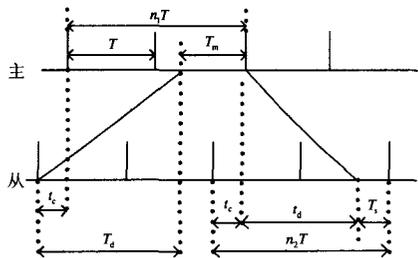


图1 采样时刻调整法

Fig. 1 Sampling-instant adjustment method

b) 若光纤通信来回通道不一致时, 则来回通道

延时的不同, 即  $T_d \neq t_d$ , 则理论上无法计算出 $t_c$ 。在软件设计时, 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为:

$$\Delta t = \frac{T_d - t_d}{2} \quad (6)$$

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 $\omega \Delta t$ 。

## 3 两侧采样不同步的影响

当光纤来回路径不一致时, 线路两侧的差动保护也能认为调整成功。造成的直接后果是两侧采样不同步, 正常运行时有差流。

假设差动判据为:

$$\begin{cases} |I_m + I_n| > I_{dz} \\ |I_m + I_n| > k |I_m - I_n| \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $I_m$ 、 $I_n$ 为被保护线路两侧的电流, 以从母线指向线路为正;  $I_{dz}$ 为比率差动动作电流门槛;  $k$ 为比率差动比率定值。

目前国内厂家线路差动保护基本上均采用式

(7)判据的比率制动, 只是制动系数 $k$ 取值不同。

### 3.1 正常运行和区外故障时

忽略线路电容电流的影响, 在系统正常运行和线路区外故障时, 假设两侧电流 $I_M$ 和 $I_N$ 大小相等, 方向相反。即两侧电流角度差为 $180^\circ$ 。通道路由不一致导致 $I_N$ 偏移实际的位置角度为 $\alpha$ , 如图2。

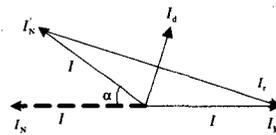


图2 区外故障相量图

Fig.2 Phasor of external fault

两侧不同步后出现差流, 制动电流也发生了变化。其中差动电流 $I_d = I \cdot \sqrt{2 - 2 \cos \alpha}$ , 制动电流 $I_r = I \cdot \sqrt{2 + 2 \cdot I \cdot I \cos \alpha}$ 。

在式(7)中, 制动系数 $k$ 的存在对不平衡电流有抑制作用。若使差动保护不误动, 则必须满足:

$$I_d < k \cdot I_r \quad (8)$$

得出:

$$\alpha < 2 \arctg(k) \quad (9)$$

$k=0.6$  时,  $\alpha < 62^\circ$  时, 式 (9) 恒成立;

$k=0.8$  时,  $\alpha < 77^\circ$  时, 式 (9) 恒成立;

以  $k=0.6$  为例说明, 由式 (6) 可知,  $62^\circ$  允许的收发路径时差为 6.88 ms。即收发路由时差小于 6.88 ms 时, 正常运行和区外故障时, 差动保护不会误动。从式 (9) 可知, 制动系数  $k$  取值越大, 则允许的时差越大。

参考文献 [2] 计算了一个全长 559 km, 共 7 个站, 3 个 STM-16 ADM 设备, 3 个 STM-4 ADM 设备, 外加一个中继站的通讯路由, 其单向传输时间为 4.57 ms, 小于 5 ms。可看出, 若来回时差为 5 ms, 则允许的传输路由很长, 在 5 ms 时差内, 通过合理的选择制动系数, 差动保护区外故障不会误动。

目前, 各省网局均规定了环网的中间接点数目, 限制了自环后的单向传输时间。通过选择合理的路由和差动保护的制动系数, 可保证在光纤收发路由不一致时, 差动保护在正常运行和区外故障时不误动。

### 3.2 区内故障时

当线路发生区内故障时, 做以下假设分析。

(1) 假设短路点两侧等效系统近似

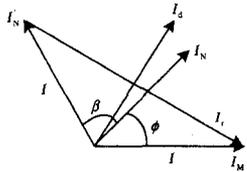


图3 区内故障相量图

Fig.3 Phasor of internal fault

参照图 3, 假设故障点两侧系统提供的短路容量近似, 提供的故障电流相同。设短路前两侧系统电势角相差  $\phi$ , 因通道不一致造成的角度差为  $\beta$ , 根据 3.1 的分析的结论, 当  $\beta + \phi < 180^\circ - 2\arctg(k)$  时, 差动保护能正确动作。

表2 允许的来回路由时间差

Tab.2 Permission time of the differential come-and-go transmission

$k$	$30^\circ$	$60^\circ$
0.6	9.11 ms	5.67 ms
0.7	8.89 ms	5.55 ms
0.8	8.11 ms	4.78 ms

系统在正常运行时, 系统两侧的电势角度差一般小于  $30^\circ$ , 在分析时放大, 考虑  $60^\circ$  的电势差, 当制动系数  $k$  取 0.6 时, 允许两侧故障电流偏移的角度为  $52^\circ$ , 即允许来回路由时间差为 5.67 ms。不

同制动系数  $k$ 、系统运行时的电势差  $\phi$  所允许的收发路由时差参见表 2。

由表 2 可知, 差动保护制动系数大, 保证内部故障能正确允许的路径时差相对较小。

(2) 短路点两侧系统等效短路容量不一致

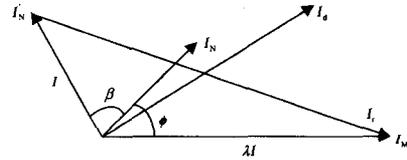


图4 区内故障相量图

Fig.4 Phasor of internal fault

参照图 4, 假设故障点两侧系统的短路容量相差  $\lambda$  倍 ( $1 \leq \lambda < \infty$ )。差动电流:

$$I_d = I \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos(\beta + \phi)}$$

制动电流:

$$I_r = I \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(\beta + \phi)}$$

差动保护动作, 则有:

$$-\cos(\beta + \phi) < \frac{(1 - k^2)(1 + \lambda^2)}{2\lambda(1 + k^2)} \quad (10)$$

以下分析只考虑  $\beta$  大于零的情况,  $\beta$  小于零时, 允许的通道路由不一致的时间更长, 读者可自行分析。

表3  $k=0.6$ 时, 允许的来回路由时间差

Tab.3 Permission time of the differential come-and-go transmission  $k=0.6$

$\lambda$	$30^\circ$	$60^\circ$
1	9.11 ms	5.67 ms
2	10.66 ms	7.33 ms
3	12.33 ms	9.00 ms

表4  $k=0.7$ 时, 允许的来回路由时间差

Tab.4 Permission time of the differential come-and-go transmission  $k=0.7$

$\lambda$	$30^\circ$	$60^\circ$
1	8.89 ms	5.55 ms
3	10.44 ms	7.11 ms
5	13.55 ms	10.22 ms

取  $k=0.6$  时, 当  $\lambda > 4$  时, 式 (11) 恒成立。即当故障点两侧短路容量相差 4 倍以上时, 差动必然动作。同理得出,  $k$  取 0.7 和 0.8 时,  $\lambda$  分别为 5.67 和 9。表 3~表 5 列举  $k$  等于 0.6、0.7 和 0.8 时, 不同的短路容量差倍数  $\lambda$  对应的允许时差。

表5  $k=0.8$ 时, 允许的来回路由时间差Tab. 5 Permission time of the differential come-and-go transmission  $k=0.8$ 

$\lambda$	30°	60°
1	8.11ms	4.78ms
3	9.00ms	5.67ms
5	10.44ms	7.11ms
7	12.33ms	9.00ms

综合表3~表5的结果, 得出:

a) 当短路点两侧系统等效短路容量相差越大时, 允许的两侧故障电流偏移的角度越大。即光纤通道路径不一致的影响越弱。

b) 制动系数越小, 允许的收发路由不一致的时间越长。

### 3.3 结论

综合系统正常运行、线路区外和区内故障差动保护动作行为分析可知, 光纤通道收发路由不一致时, 通过取合理的制动系数, 在路由时间差小于5ms时, 两侧采样不同步不会造成差动保护不正确的动作行为。

## 4 解决方案

基于采样时刻调整的采样同步法, 由于缺乏统一的时间基准, 两侧保护装置无法正确的知道通道的传输时间, 只能认为收发路由一致。所以无法从根本上解决通道收发路由不一致的同步问题。

目前微机继电保护不同于机械式保护, 增加一个保护功能比较简单, 可以用以下两种方式解决差动保护来回路由时间差很大的问题。

(1) 目前微机保护均带有GPS校时功能。在GPS信号正常的情况下, 采用GPS同步, 同时监测乒乓原理的同步结果。来回路由不一致时差大时, 投入基于GPS同步的差动保护。

(2) 微机保护的计算功能强大, 可同时计算差动保护和距离保护。在通道正常时, 投入差动保护; 在来回路由时间差大时, 自动转入允许式距离保护。此种方案只需光纤通讯传输差动保护的数据时, 同时增加一个字节传输纵联允许信号, 其它均无需改变。

## 5 结语

光纤分相电流差动保护在自愈环网中使用时, 由于通道切换, 导致收发路由时间不一致, 差动保护在正常运行时出现差流。此时并不一定要立即退出差动保护。用户可以借助路由不一致时的差动特性, 在事故前, 分析可能的路由时间, 决定在通道切换后是否退出差动保护。

当然, 更理想的解决方案还是利用当前微机保护强大的计算功能, 合理利用GPS信号, 或适时投入纵联允许式距离, 提高差动保护的可靠性。

### 参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第2版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
ZHU Sheng-shi. Principles and Technology of Relay Protection in HV Power System, 2<sup>nd</sup> ed[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [2] 金延. 华中电力光纤网络传输继电保护业务分析[J]. 电力系统通讯, 2003, (6): 19-21.  
JIN Yan. The Analysis of Protective Relaying Signals Transmission Through the Fiber Network in Central China Power Company[J]. 2003, (6): 19-21.
- [3] 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案[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(9): 46-49, 53.  
GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li. Sampling Synchronization Methods in Digital Current Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(9): 46-49, 53.

收稿日期: 2007-09-19; 修回日期: 2008-04-14

作者简介:

刘宏君(1974-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究; E-mail: Rockor\_liu@tom.com

张兆云(1976-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究;

李辉(1976-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究。

**热烈祝贺《继电器》杂志更名为《电力系统保护与控制》**