

光纤纵差保护中数据同步的误差分析及补偿办法

王尔寒¹, 王强¹, 文明浩¹, 胡叶宾¹, 桑仲庆¹, 路光辉¹, 熊丽君²

(1. 许继电气保护部, 河南 许昌 461000; 2. 株洲电力设计院, 湖南 株洲 412000)

摘要: 针对光纤差动保护中的通道及数据传输问题进行了讨论, 提出了解决保护两侧采样同步问题的方案: 以采样时刻调整法结合不平衡输出抬高动作门槛。

关键词: 光纤差动; 不对称通道; 同步

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)08-0043-03

1 引言

随着光纤数字通信技术的日益发展及其在电力系统中的逐步应用, 光纤纵差保护以其原理简单、性能可靠的优点在高压、超高压输电线路中逐步得到广泛的应用。对于光纤纵差保护装置而言, 主要有两大问题必须解决: 数据的传输问题和数据的同步问题。

对于数据的同步问题, 目前各生产厂家通常采用以下几种解决方案^[1]:

- (1) 采样数据修正法;
- (2) 采样时刻调整法;
- (3) 参考相量同步法;
- (4) GPS 同步法。

其中, 前两种解决方案都是基于光纤通道收、发延时相等的“等腰梯形算法”(即乒乓算法)。后两种则与通道无关, 但参考相量法受输电线路参数和电气量测量误差的影响, 其精度不能得到保证; GPS 同步法依赖于 GPS 对时, 可以达到相当高的精度, 但它会受到自然环境和社会环境等因素的制约, 并且需要相应的硬件支持。由于继电保护装置的特殊性, 该方法不能作为保护装置唯一的同步方法。

由上可知, 采用不同的同步方法会有不同的同步误差源产生。随着电力系统通信网络的日益完善, 自愈环网或可变路径的光纤通道逐渐增多。在这种情况下, 对每一帧数据都进行“梯形算法”的数据修正法显然已不合适。采用采样时刻调整法能够在同步后的一段时间内不必重新调整同步, 这一时间的长短取决于两侧保护装置采样时钟的相对漂移情况。

在同步建立期间, 光纤通道出现收、发延时不对称的情况时, 采用梯形算法计算出的两侧同步时刻会有一个固定偏差 T , 偏差大小与通道的不对称

度有关(具体见下文), 使保护在正常情况下出现差流, 失去灵敏度, 甚至引起误动。

基于以上原因, 本文提出运用“采样时刻调整法”为同步方式, “并自适应抬高动作门槛”的补偿办法。该方法已在许继公司的新一代光纤纵差保护装置 WXH803 高压线路保护装置中得到成功的运用。

WXH803 保护装置每周波 96 点采样, 每 5 ms 传输一帧数据。该帧数据中包含同步信息和保护信息两大块内容。同步信息包含各类时间标签, 主要用于同步计算, 一帧数据中所带的信息足以完成一次同步监测; 保护信息包含三相电流相量值、状态信息和分时传送电压相量, 是保护用作差动判据及双端量测距的数据来源。

2 运用“采样时刻调整法”建立统一的时间坐标系

采样时刻调整法已在多种文献上有详细论述, 以下只作必要说明, 不作详细的同步过程分析。

如图 1 所示, 定义向上通道延时 t_{du} 与向下通道延时 t_{dd} , 同步端 (N 侧) 采样时刻超前参考端 (M 侧) T , 有:

$$T_M = t_{du} - T \quad (1)$$

$$T_N = t_{dd} + T \quad (2)$$

$$T = [(T_M - T_N) + (t_{du} - t_{dd})] / 2 \quad (3)$$

当 $t_{du} = t_{dd}$ 时, 两侧对齐的条件为 $T_M = T_N$, 所以在对称通道下, 理论上可以做到采样时刻同步。由上可知: “梯形算法”的前提是光纤通道必须对称。

同步后将两侧相同时刻的采样值标以相同的时间序号, 为充分满足通道的延时要求, 笔者采用 12 周波循环序号(窗口长度 240ms)。WXH803 采用每周波 96 点采样, 则统计时间序号为 $96 \times 12 = 1152$ 个。图 1 所示 m_i 、 n_i 即为各侧时标。同步后应有

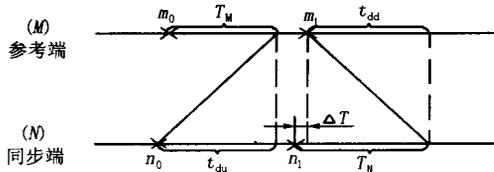


图1 通道延时相等时同步计算示意图

Fig.1 Sketch of synchronization in symmetry time delay channel

$m_0 = n_0, m_1 = n_1, \dots$,这样两侧的时间坐标建立了基于采样序号的对应关系,为差动计算奠定了基础。

3 同步误差分析

3.1 晶振漂移引起的误差分析

保护系统同步后,造成系统再次失去同步的主要原因是两侧保护晶振的相对漂移,这是一个相对缓慢而非突变的过程(实验表明:在工作频率 40 MHz、精度为 10^{-9} ppm 的时钟下,同步后两侧采样时刻偏离 0.1 ms 的时间约为 1.5 min 左右)。因此,没有必要对同步端采样时刻实时进行调整,但实时监测系统的同步状况是必要的,也是简单易行的,这样可以按自己的精度要求自适应地进行调整,而非传统地定时调整采样时刻。

在该方案具体实施中,笔者采用判据 $T = (T_M - T_N) / 2 > 0.2 \text{ ms}$ 且连续出现几次后便启动同步调整过程,使两侧采样时刻再次达到同步。该过程是一种时刻微调,并不破坏数据的连续性,取连续几次的原因主要是防止计算误差或通道因素的影响。

3.2 非对称通道延时不等的误差分析

在同步建立期间,若光纤通道出现收、发延时不对称的情况时(如图 2 所示),采用梯形算法计算出的两侧同步时刻会有一个固定偏差 T

$$T = (t_{du} - t_{dd}) / 2 \quad (4)$$

式中: T 为非对称通道带来的同步误差,与之相对应的电气量的角度差为 ΔT 。

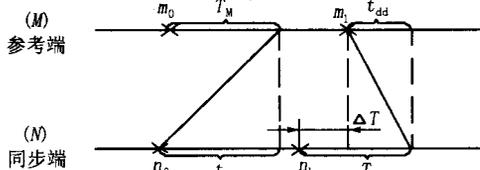


图2 通道延时不等时同步计算示意图

Fig.2 Sketch map of synchronization in asymmetry time delay channel

$$= T / 20 \times 360^\circ \quad (5)$$

根据电流相量的比率式差动判据, $|I_M + I_N| > k |I_M - I_N|$, 当 $k = 0.6$ 时有 $\pm 60^\circ$ 的闭锁角, 的存

在使保护在区内故障时灵敏度降低,发生区外故障时可能会引起误动。另外,由不对称通道引起的角只知其存在,但并不能通过“梯形算法”求出其大小。

4 补偿办法

在相量差动保护中,总是运用基尔霍夫电流定律,即 $\sum I_k = 0$, 其中, I_k 为线路各侧保护装置测得的同名相电气量。但在实际的线路相差保护中,上式成立须满足以下几个条件:

- (1) 电容电流(充电电流)为零;
- (2) 两侧计算的相量值必须为同一时刻;
- (3) 装置测量回路(包括 CT 回路)要有足够高的精度;
- (4) 无区内故障。

在系统正常时主要的影响因素为前两条。

当电容电流存在时可以进行电容电流补偿,取图 3 所示等效模型,则电容电流经下式计算:

$$I_C = (Y_{C1} U_1) / 2 + (Y_{C2} U_2) / 2 + (Y_{C0} U_0) / 2 \quad (6)$$

各侧补偿后电流值为:

$$I_{MC} = I_M - I_C, \quad I_{NC} = I_N - I_C$$

理论上补偿后同一时刻的电流相量满足 KCL 方程。

在系统正常时,若两侧采样时刻不一致,则会在以下两个方面表现出来:

- (1) 两侧同名相电流相量会存在一个相角差;
- (2) $|I_{MC} + I_{NC}| = I_{BPH} \quad (7)$

根据以上两种表现形式,可分别对应两种补偿手段,分述如下。

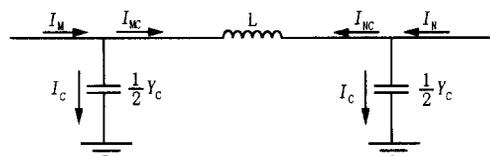


图3 电容电流分布等效电路

Fig.3 Equivalent circuit of capacitive current

4.1 结合参考相量法及数据修正法对相量进行调整

此方法的关键是借助两侧的电电压参考相量近似计算出 ΔT 的大小,并利用该偏差角对接收数据进行角度扭转。

线路正常时两侧的电电压的关系(假设负荷电流 I_F 方向由 M 侧至 N 侧为正方向):

$$U_m = U_n' = U_n + I_F * Z_L \quad (8)$$

其中: U_n 为 N 侧电压 U_n 折算至 M 侧的等效电压量。

若两电压相量方向不一致,可由余弦定理求出二者夹角,该角度主要是由线路两侧装置采样时刻不一致引起,即为采样时刻偏差角,并通过该角将对侧电流相量进行角度扭转来减小不同步带来的影响:

$$I_N = I_N e^{j\theta} \quad (9)$$

(本侧超前时 取正,本侧滞后时 取负)

但该方法要求通道上要传送电压信息,在实际应用中并不方便,且受线路参数的影响较大,精度很难保证。同时,笔者建议不宜通过此角值对采样时刻进行调整,因为该方法破坏了采样时刻调整法的时钟基准单一性。

4.2 根据不平衡输出自适应抬高动作门槛

在系统正常的情况下,按照式(7)连续计算 A、B、C 相的不平衡输出,此不平衡电流是线路流过的负荷电流的 $2 \sin(\theta/2)$ 倍,在 θ 较小时基本为正比关系。由此,可计算出相应的补偿系数,并在差动辅助判据中进行补偿,差动主判据不做任何调整:

$$|I_{MC} + I_{NC}| > I_{DZ} + k_{BPH} I_{BPH} \quad (10)$$

$$|I_{MC} + I_{NC}| > k |I_{MC} - I_{NC}| \quad (11)$$

其中: $k_{BPH} = I_{BPH} / I_{FC}$,为不平衡补偿系数,在实际应用中将该系数限定在 $[0, 1]$ 的范围内; I_{FC} 为装置本侧补偿后装置测量电流值; I_{MC} 、 I_{NC} 均为电容电流补偿后的各侧电流值。

该方法简单易行,在不丧失区内故障灵敏度的前提下,能可靠避免区外故障时由于两侧采样不同而可能引起的误动问题。

运用该补偿方法时,必须注意运用条件:

(1) 补偿系数需在系统稳定的情况下求得,突变量启动后要退出计算改而采用记忆值;

(2) 补偿系数须是一段时间内的平均值,某一次的突变不宜采信。

在 WXH-803 保护装置中采用第二种补偿方式,并在试验中达到了良好的效果。

5 结论

本文分析了的采样时刻调整法误差根源,并采用根据不平衡输出自适应抬高动作门槛的补偿方法,提高了保护装置的可靠性。基于此原理而设计的“WXH-803 高压线路纵差保护装置”已成功通过动模试验及型式试验的严格测试,结果显示该装置具有较高的精度及灵敏度,完全能够满足电力系统需要。

参考文献:

- [1] 廖泽友,鲍伟廉,杨奇逊,等.数字式高压线路电流纵差保护的通信技术[J].电力系统自动化,1999,23(18):25-27.

收稿日期: 2003-01-10; 修回日期: 2003-03-25

作者简介:

王尔寒(1975-),男,本科,工程师,主要从事电力系统继电保护的研究与设计;

王强(1969-),男,硕士研究生,高级工程师,主要从事电力系统继电保护的研究与设计;

文明浩(1973-),男,博士后,主要从事电力系统继电保护的研究与设计。

Analysis on errors of data synchronization and compensation methods for differential current protection based channel of optical fiber

WANG Er-han¹, WANG Qiang¹, WEN Ming-hao¹, HU Ye-bin¹, SANG Zhong-qing¹, LU Guang-hui¹, XIONGLi-jun²
(1. XI Electric Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Zhuzhou Electric Power Design Institute, Zhuzhou 412000, China)

Abstract: For some problems about data transmitting and channel of differential current protection, a new method to solve them is pointed out: adjusting sample clock and adaptively in creating the settings.

Key words: differential current protection based channel of optical fiber; asymmetry channel; synchronization