

关于输电线路光纤电流差动保护的若干问题讨论

夏建矿

(宁夏电力公司石嘴山供电局, 宁夏 石嘴山 753000)

摘要: 针对电力系统实际运行中影响输电线路光纤差动保护正确动作的诸多因素,以 RCS-931 光纤差动保护为例,从光纤差动保护的原理和特定运行方式的角度出发,深入细致地讨论分析了诸如线路电容电流、重负荷状态下发生高阻接地故障、CT 饱和、线路两侧 CT 特性不一致、光纤通道数据采样同步等问题对光纤差动保护的影响,从运行管理、设计选型和保护软件算法等方面提出了具体的解决方法和措施,消除了这些因素对光纤电流差动保护的不利影响。

关键词: 光纤; 电流差动保护; 电容电流; CT 特性; 数据采样同步

Discussions on several problems about the optical fiber differential protection of the transmission line

XIA Jian-kuang

(Shizuishan Power Supply Bureau, Ningxia Electric Power Corporation, Shizuishan 753000, China)

Abstract: This paper indicates a number of factors which affect the normal action of current differential protection for transmission line in power system in actual operation. And it takes the principle and certain operating mode of differential protection for optical fiber as a view and the RCS-931 differential protection for optical fiber as an example to discuss and analyze intensively the influence over the differential protection for optical fiber from the line capacitance and current, high-impedance grounding fault under heavy load, CT saturation on the transmission line, disparity of CT on two sides of the transmission line, and the data sampling in step of the optical fiber line. Then it brings in some solutions in detail from the operational guidance, selection of design, and protection of software algorithm to remove the adverse effect brought by those problems above for the differential protection for optical fiber.

Key words: line fiber optical; current differential protection; capacitive current; CT characteristics; synchronous sampling data

中图分类号: TM77

文献标识码: B

文章编号: 1674-3415(2010)10-0141-04

0 引言

光纤作为继电保护的通道介质,具有不怕超高压与雷电电磁干扰、对电场绝缘、频带宽和损耗低等优点。电流差动保护原理简单,不受系统振荡、线路串补电容、平行互感、系统非全相运行方式的影响。差动保护本身具有选相能力,而且动作速度快,最适合作为主保护。因此利用光纤通道构成的电流差动保护具有一系列的优点,得到了广泛的应用。本文以南瑞 RCS-931 光纤保护为例,对输电线路光纤电流差动保护的若干问题进行了探讨。

1 光纤电流差动保护原理简介

光纤电流差动保护利用光纤通道将线路保护一侧的电流传输至对侧,保护装置将两侧的电流进行计算,判断区内、区外故障,其构成原理以基尔

霍夫电流第一定律为基础,即:“任意时刻,流入任何一个节点的各支路电流之和为零”。如果不考虑输电线路分布电容、分布电导和并联电抗器,则电流差动保护原理对任何故障都是适用的。光纤通道传送的信息容量很大,包括电流采样值后的幅值和相位的信息。因此,光纤电流差动保护对通道的要求较高。

图 1 中,设流过两侧保护的电流以母线流向本保护线路的方向规定其正方向,则动作电流 $I_d=|I_m+I_n|$, 制动电流 $I_r=|I_m-I_n|$ 。

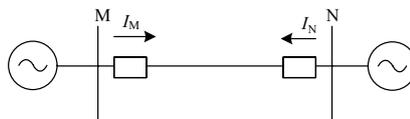


图 1 系统图

Fig.1 Primary system figure

$$I_d > I_{qd} \quad (1)$$

$$I_d > K_r I_r \quad (2)$$

式中： I_{qd} 为差动继电器的启动电流； K_r 为比率制动系数。同时满足上述两个条件，差动保护动作。

当线路发生内部故障时，动作电流 I_d 很大，而制动电流 I_r 很小，因此工作点落在动作区内，差动继电器动作。当线路外部短路时，流过本线路的电流是穿越性的短路电流，动作电流 I_d 很小，而制动电流 I_r 很大，因此工作点落在非动作区内，差动继电器不动作。比率制动特性见图2。

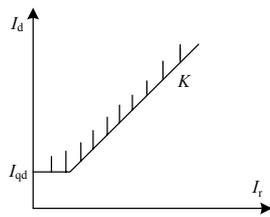


图2 比率制动特性

Fig.2 Percentage restraining characteristic

可得出如下结论：(1)如果线路内部有流出的电流（例如内部短路的电流、本线路的电容电流等），那么这些电流都是动作电流。(2)如果线路流过穿越性的电流（如外部的短路时流过线路的短路电流、负荷电流等），那么这些电流都是制动电流。

差动保护的优点：(1)原理简单，基于基尔霍夫定律，具有天然的选相功能。(2)能自适应系统运行方式，不受振荡影响，任何故障快速动作。(3)不受PT断线影响，优于方向保护。(4)躲过渡电阻能力强、不受功率倒向影响、适应于串补线路、适用于短线路。

差动保护的缺点：(1)对光纤通道的依赖性强，要求通道不中断，误码率要低。(2)不同光纤差动保护需要不同的通道。(3)只能和同型号的光纤差动构成整套主保护，用旁路断路器带线路断路器时不易配合等。

因为光纤电流差动保护的优点很多，所以输电线路光纤电流差动保护得到了广泛的应用。

2 线路电容电流对光纤电流差动保护运行的影响

在线路空投、发生区外短路以及区外短路切除时，电流差动保护不应动作。由于超高压线路多采用分裂导线，线路的感抗减小，分布电容增大。线路越长则分布电容越大，电容电流越大，使得电容电流的影响不能不考虑。在短路的暂态过程的初始时刻，线路的电容电流中除有工频分量的电容电流

外，还有高频分量（>50 Hz）的电容电流，这些电容电流数值很大。对差动保护来说，这些电流是动作电流，较大数值的电容电流可能造成光纤差动保护误动。

为了消除分布电容的影响，可采取下列解决措施：

(1) 提高差动保护 I_{cdzd} 动作定值。

(2) 保护软件算法中电流差动保护动作加40 ms延时，以躲过电容电流的影响。

(3) 保护差流算法中，采用电压测量的方法来补偿电容电流。

3 重负荷情况下发生高阻接地故障对光纤电流差动保护的影响

负荷电流对电流差动保护来说，是具有穿越性质的，是制动电流。在重负荷下，差动保护制动电流很大，为负荷电流的2倍。这种情况下发生高阻接地的故障，短路点的短路电流并不大，动作电流不大，保护的灵敏度会不足，保护可能会拒动。如果短路点两侧系统不对称会增加拒动的可能性。

RCS-931保护采用由零序差动继电器（零序差动继电器具有较高的灵敏度），通过低比率制动系数的稳态差动元件选相，构成零序I段差动继电器，经100 ms延时动作来解决高阻接地故障保护灵敏度不足的问题。

4 CT对光纤电流差动保护的影响

4.1 CT饱和问题

当线路发生区外故障时，短路电流中含有非周期分量，同时CT铁芯存在剩磁，可能会造成CT暂态饱和。这是因为CT的励磁特性是按工频设计的，在传变非周期分量时，铁芯磁通（即励磁电流）大大增加，使得CT传变特性恶化。为了克服CT饱和的影响，RCS-931装置中通过采用较高的制动系数和自适应浮动制动门槛，保证在较严重的饱和情况下不会误动。

4.2 线路两侧CT特性不一致对光纤电流差动保护的影响

由于线路两侧CT特性不一致，包括CT暂态特性、稳态特性、CT饱和程度及线路两侧CT二次回路的时间常数不一致，若在发生区外短路故障、区外短路故障切除时，电流差动保护可能会误动。

解决的措施：

(1) 线路两侧CT尽量选取同一厂家同一批次的相同型号CT，使两侧CT特性尽可能一致。

(2) 保护算法中采用较高的制动系数 K 和增加

浮动门槛。通过提高差动动作值来躲过两侧 CT 特性不一致产生的差流。

4.3 CT 断线对保护的影响

线路正常运行时,在 CT 断线瞬间,断线侧的起动元件和差动继电器都可能动作;但对侧的起动元件不会动作,不会向本侧发差动保护动作信号,从而保证纵联差动不会误动。但是发生区外故障时,差动保护可能会误动。可根据实际需要采取闭锁措施,防止差动保护误动。

RCS-931 保护中,CT 断线时系统如果发生故障或系统扰动导致起动元件动作,若“CT 断线闭锁差动”整定为“1”,则闭锁电流差动保护。也就是说,CT 断线后,再发生区内故障,保护差动也不会动作;若“CT 断线闭锁差动”整定为“0”,则将该相差动定值抬高到“CT 断线差流定值”,如果该相差流大于 CT 断线差流定值时,电流差动保护仍能动作。也就是说,CT 断线后,再发生区外故障,保护将可能误动。

5 数据采集同步对光纤电流差动保护造成的影响

5.1 采样同步的重要性

线路两侧电流采样不同步,造成电流采样的数值产生误差,将产生动作电流。因此时间同步和误码校验问题是光纤电流差动保护面临的主要技术问题。在复用通道的光纤保护上,保护与复用装置时间同步的问题,对于光纤电流差动保护的正常运行起到关键的作用。目前光纤差动电流保护的时钟有外时钟方式和内时钟方式,以保证数据采集同步。

5.2 RCS-931 差动保护的同步时钟方式

RCS-931 差动保护装置时钟同步要求是收、发两端机的时钟频率必须同频、同相,这样接收端才能正确接收和判决发送端送来的每一个码元。利用“信息编码”和“锁相环”技术,实现两侧系统的时钟同步。

RCS-931 差动保护的时钟方式见图 3、图 4。

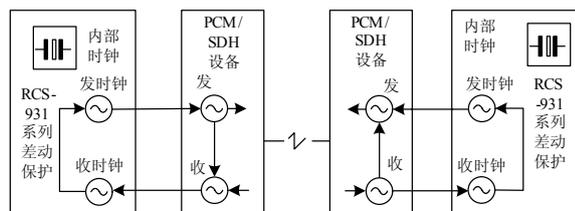


图 3 RCS-931 外时钟（从—从）方式

Fig.3 RCS-931 external clock source (slave-slave) mode

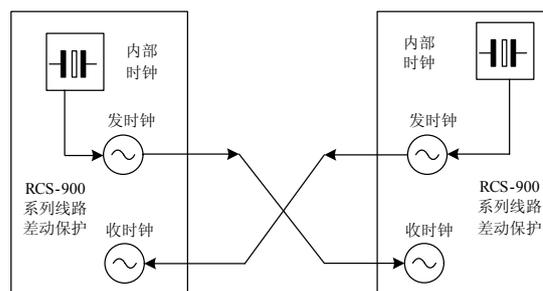


图 4 RCS-931 内时钟（主—主）方式

Fig.4 RCS-931 internal clock source(host-host) mode

5.3 采样同步调整的方法

目前常用的采样同步调整的方法有以下几种：(1)采样数据修正法；(2)采样时刻调整法；(3)时钟校正法；(4)基于参考矢量的同步法；(5)GPS 同步法。可通过上述方法使线路两侧保护数据采样。RCS-931 保护采用采样时刻调整法来实现同步,要求收发路由一致,信号收发传输延时要一致。

6 弱馈问题对光纤电流差动保护的影响

如图 5,差动保护一侧为电源侧另一侧为负荷侧或弱电源侧(弱馈侧),线路上 K 点发生短路。假定 N 侧线路空载,中性点不接地,则 $I_N=0$ 。由于 N 侧为负荷侧或弱电源侧(弱馈侧),启动元件不启动,不能向对侧发“差动允许”信号,造成对侧 M 侧差动保护不能动作,由后备保护延时动作切除故障。

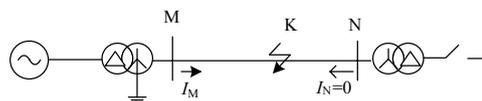


图 5 一侧为弱馈电源示意图

Fig.5 One side is weak power end

解决的措施：

N 侧差动保护启动元件中增加“低电压”启动元件。当差动保护启动元件满足：

- (1) 差动元件动作。
- (2) U_ϕ 小于 $0.6U_n$ (U_n 为相电压, ϕ 指 A, B, C) 或 U_ϕ 小于 $0.6U_n$ (U_n 为线电压, ϕ 指 AB, BC, CA)。
- (3) 收到对侧“差动动作”允许信号。
- (4) 同时满足以上 3 个条件时,装置向对侧发“差动动作”允许信号,让对侧差动保护动作,解决了弱馈的问题。

7 线路 CT 与开关间短路的问题

如图 6,当在 MN 线路 M 侧开关与 CT 之间发生

短路时，由于故障点 K 在母线差动保护范围内，M 侧母线差动保护动作跳开 M 母线的所有开关。但是线路故障依然存在，且故障点 K 在 MN 线路差动保护范围外。若不采取措施，N 侧差动保护无法动作，只能依靠其后备保护动作切除故障。

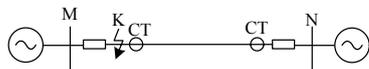


图 6 开关与 CT 间短路示意图
Fig.6 Short-circuit between switch and CT

为弥补上述不足，采取如下的措施：将 M 侧母线保护动作、失灵保护动作触点接在差动保护的“远跳”输入端子上。当该端子有输入时，立即向对侧发远跳命令。对侧装置收到远跳命令后，依据“远跳受就地控制”整定控制字的整定，决定是否经启动元件启动发跳闸命令，快速切除故障。

8 线路一侧开关在跳位，而另一侧开关合闸充电的问题

如图 7，当 M 侧开关合闸向 MN 线路充电时，线路发生故障(如 K 点)。由于 N 侧三相开关在跳位，N 侧启动元件不启动，造成 M 侧差动保护不能动作。

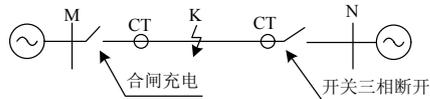


图 7 线路一侧开关合闸充电示意图
Fig.7 One side switch of transmission line switch on

采取的措施：当 N 侧三相 TWJ=1，同时差动元件也动作，N 侧差动保护向对侧发“差动动作”允许信号，让对侧差动保护快速动作，切除故障。

9 结束语

输电线路光纤电流差动保护是近年来广泛应用的保护，同其他类型的线路纵联保护有共性又有其特殊性。文章就输电线路光纤电流差动保护的这八个特殊问题进行了探讨，有针对性地提出了解决方法，确保了光纤差动保护能可靠、稳定运行。

参考文献：

[1] 许西平, 王鹏. 光纤通道应用于继电保护中的若干问题探讨[J]. 继电器, 2007, 35(4): 75-78, 86.
XU Xi-ping, WANG Peng. Discussion on the application of fiber channel in relay protection[J]. Relay, 2007, 35(4): 75-78, 86.

[2] 贺家李, 李永丽, 李斌, 等. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
HE Jia-li, LI Yong-li, LI Bin, et al. Principle and application of electric power system relay protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.

收稿日期: 2009-06-08; 修回日期: 2009-07-29
作者简介:

夏建矿 (1975-), 男, 工程师, 主要从事继电保护维护及管理工作. E-mail: xjk_gw1@163.com

(上接第 124 页 continued from page 124)

[11] 胡玉峰, 陈德树, 尹项根, 等. 天平串补线路继电保护数字仿真平台的开发[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 87-92.
HU Yu-feng, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, et al. Design of a digital relay simulation platform of the Tian-Ping series compensated line[J]. Automation of

Electric Power Systems, 2006, 30(4): 87-92.

收稿日期: 2009-06-16
作者简介:

王奇 (1983-), 男, 工学博士, 工程师, 从事电力系统电压稳定与控制、直流及串补控制保护方面工作. E-mail: wangqi@ehv.csg.cn

(上接第 140 页 continued from page 140)

LIU Zhi-chao. Analysis of magnetic inrush current of three-phase transformer and differential protection scheme[J]. Automation and Electric Power Systems, 2006, 30(10): 58-60.

作者简介:

王立大 (1978-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统继电保护研究及调试工作; E-mail: daliw_2001@163.com

收稿日期: 2009-06-26; 修回日期: 2009-08-16

段周朝 (1977-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护研究及调试工作。