

光纤差动保护的应用研究及现场试验

李保恩¹, 马拥军², 李海峰¹, 闫启祥¹, 陈海云³

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许昌电业局, 河南 许昌 461000;

3. 山东沂水县供电公司, 山东 沂水 276400)

摘要: 随着微机保护技术和光纤通信技术的日益成熟,分相电流差动保护逐渐成为高压线路的主保护,其保护原理简单,有明确的选择性;但通信技术是差动保护的一个关键技术。线路分相电流差动保护的现场对调一直是困扰技术人员的问题,数字式分相电流差动保护的辅助功能为现场使用带来了很大方便。

关键词: 差动保护; 光纤通信; 数字式

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)07-0073-04

1 引言

高压线路分相电流差动保护,比较线路两侧的电流,其不受负荷电流的影响,不反应系统振荡,具有良好的选择性,能快速切除全线故障,一般情况下也具有较高的灵敏度。随着计算机保护技术和光纤通信技术的日益成熟,具有独特优点的数字式分相电流差动保护正在取代传统的电流差动保护,光纤通道具有很好的抗电磁干扰能力和大容量传输数据的优点,许多传统保护无法实现的辅助功能,数字式分相电流差动保护都能做到,从而为现场使用提供了极大的方便。

2 纵联电流差动保护

随着计算机技术及微波通信、光纤通信技术的发展,现在纵联电流差动保护在通信传输中传送的是经保护处理后的数字量,由于微波通道和光纤通道不受线路故障型式的影响,尤其是光纤通道抗电磁干扰的能力强,短线路保护中光纤纵联电流差动保护正越来越多地被采用,这项技术也日趋成熟。

纵联电流差动保护按通信调制方式分为三种:频率调制(FM)电流差动保护,脉宽调制(PWM)电流差动保护,脉码调制(PCM)数字纵联电流差动保护。由于当今计算机技术和数字通信技术的发展,脉码调制(PCM)数字电流差动保护的优越性越来越得到实践的验证,尤其随着短线路的增多和光纤通信技术的成熟,脉码调制(PCM)数字电流差动保护正逐渐被电力系统推广应用。本文就这种保护的原理和特点进行论述,并介绍现场应用中的试验方法和注意事项。

3 脉码调制(PCM)数字式电流差动保护

现代通信技术采用脉码调制(PCM)的方式实现多路信息传输,这种方式抗干扰能力强,尤其适用于数字式保护,光纤通信是将电信号变为光信号进行传输,而光信号与电磁信号隔离,为纵联差动保护性能的提升提供了强有力的支持。下面以许继电气股份有限公司研制的微机光纤纵联分相电流差动保护为例阐述电流差动保护的原理。

保护装置经交流采样、模数变换后,保护CPU单元对信号进行滤波处理,并将滤波后的电流数字量传送给通信CPU单元,同时保护CPU单元也将接收通信CPU经同步调整后的对侧电流数字量,并与本侧电流数字量进行比较判断决定是否发出口命令。通信CPU单元的作用是将本侧的数字量经串/并转换后将信号传向对侧,并接收对侧的数字量经串/并转换,同时根据两侧的信息进行电流的同步调整。64K接口的作用即进行PCM的调制解调,光接口(E/O)即实现光电转换。

3.1 动作判据

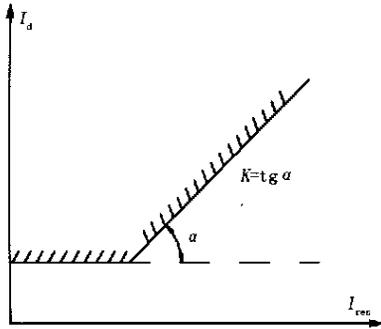
动作判据如式(1)、(2),两式同时满足程序规定的次数即跳闸。

$$|I_m + I_n| > I_{CD} \quad (1)$$

$$|I_m + I_n| > k|I_m - I_n| \quad (2)$$

式(1)为基本判据, I_{CD} 表示线路电容电流,式(2)为主判据。

式(1)、(2)的动作特性如图1所示,制动量随两侧电流大小、相位而改变, $I_m = I_n$ 时,制动量为零,动作最灵敏,区外故障, $I_m = -I_n$,制动量 \gg 动作量,保护可靠不动作。



其中: $I_d = |I_m + I_n|$; $I_{res} = |I_m - I_n|$

图1 跳闸判据动作特性

Fig. 1 The action character of trip criterion

3.2 数据同步调整原理

两侧数据同步调整采用数值调整法,同步调整关系如图2所示,甲为本侧,乙为对侧,“×”表示向对侧发信时间,周期为 T , t_1 、 t_2 分别为两侧收到对侧数据距本侧最近一次发信的时间差, T_c 时刻甲方收到乙方数据,其帧结构内容如表1所示。用于调整的两个量为:对侧收到本侧传来的序号 N 和 t_1 ,乙侧最近一组发送数据序号 M ,再考虑到本侧最新一组 I_s 、 I_c 的序号为 P , I_s 、 I_c 为电流经傅氏滤波后的电流实部和虚部,收到对侧数据距本侧最新一次中断发信时间 t_2 ,则可根据公式(3)得时刻 T_A

$$T_A = [T(P - N + 1) + t_2 - t_1] / 2 \quad (3)$$

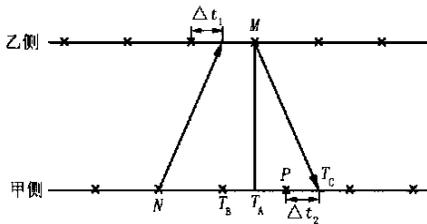


图2 同步调整图

Fig. 2 The diagram of synchro regulation

T_A 正是乙方 M 时刻数据对应甲方的时间,但甲方的数据与 M 最近的一组序号为 T_B 时刻,两侧时差 $(T_A - T_B)$ 所对应的角度 α ,即甲侧数据 T_B 采样点与乙侧数据 M 采样点所差的角度;所谓同步调整就是将乙侧 M 点数据向前移 α 角,使之与 T_B 时刻本侧数据对齐,据式(3)可求得 T_B 时刻甲方数据的序号 $S(i)$ 和 α (注:每个中断点相差 60°)。

$$S(i) = N(i) + \text{INT}(T_A / T) \\ = 60^\circ \text{DEC}(T_A / T)$$

式中 INT:取整数部分;DEC:取小数部分

又根据下式将乙侧 T_A 时的 I_s 、 I_c 调整到 T_B 时的 $I_{s'}$ 、 $I_{c'}$ 。

$$I_B = I_A \text{EXP}(j\alpha) = (I_s + jI_c) (\cos\alpha + j\sin\alpha) = \\ (I_s \cos\alpha - I_c \sin\alpha) + j(I_c \cos\alpha + I_s \sin\alpha) = \\ I_{s'} + jI_{c'}$$

I_A 为甲侧收到的乙侧 M 点电流, I_B 为收到的乙侧 M 点经同步调整后的电流。

这种调整方法在收到对侧一帧信息即可完成,对通道依赖性不强,非常适合我国使用。

3.3 通信原理

线路两侧差动保护每隔 3.3 ms (60°) 向对侧发一帧数据,帧结构如表1所示:每帧发送的数据共19个字节,其中包括12个字节的三相电流相量值的实部、虚部分量,以及用于同步调整、控制等的有关信息,定义如下:

表1 帧结构表

Tab. 1 Frame structure

同步字	本侧序号	三相电流	控制字 KZXI	远动控制字 KZXII	对侧序号	t	校验码
1个字节	1个字节	12个字节	1个字节	1个字节	1个字节	1个字节	1个字节

同步字——正常运行时,各保护的收信回路处于搜索状态,收到同步字后,立即启动中断服务程序,接收而后的18个字节数据。

本侧序号——本侧电流相量排列序号,用于同步调整。

对侧序号——本侧收到最新一帧对侧数据的序号,再发回对侧用于同步调整。

控制字——本侧保护根据运行状况,向对侧发出的状态信息。

远动控制字——发送远动信息。

t ——收到对侧信息距本侧最近一次发信的时间,用于同步调整。

校验码——其值为前17个字节的累加和,用于收信误码校验。

数据传送采用“先算后送”的方式,这样一帧数据出错只损失一个采样间隔的跳闸时间。

4 数字式分相电流差动保护的应用

4.1 应用于短线路

随着电网的改造,城市电网越来越紧密,高压系统(110 kV以上)短距离输电线路越来越多,对于短距离线路,由于距离保护、零序保护应用不够理想,而采用高频保护又要增加不少辅助设备,所以随着

光纤价格降低、敷设方便等优点的出现,数字式电流差动保护广泛应用于短线路成为可能。如图3所示的变压器出线与母线距离往往很短(如电厂经变压器升压后至开关站),为降低工程费用,许多地方将变压器侧的开关省掉,变压器故障时直接跳母线侧开关,但由于变压器距开关站有一定的距离,所以,采用变压器保护经光纤通道实现远方跳闸。许继电气股份有限公司研制的微机光纤短线路保护已应用于这种系统中,为使用单位节省了较大费用。

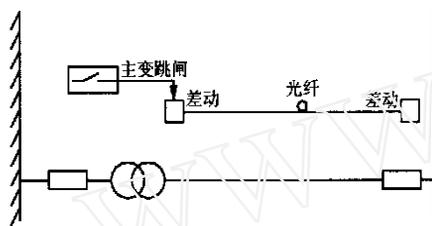


图3 线路变压器单元

Fig.3 The unit of line and transformer

4.2 远方跳闸

如图4所示系统,由于线路较短,在主变故障时,为避免母线受影响,主变保护动作时既跳开变压器出线断路器,也希望跳开母线处断路器,这时数字式分相电流差动保护的远方跳闸辅助功能即可实现这一目的。同样当母线保护动作时,利用远方跳闸功能也可将变压器出线断路器跳开。

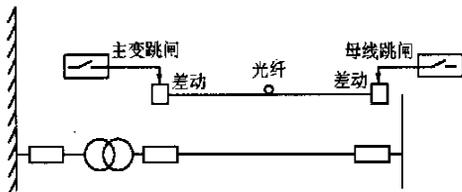


图4 差动保护远方跳闸

Fig.4 The remote trip of differential protection

5 应用实例

湖南涟源变电站至涟源钢厂的220 kV系统接线与图3相似。按要求,希望变压器侧的微机分相电流差动保护能够将6个开关量远方传至母线侧,这6个开关量包括:主变跳闸、手动跳闸、主变动作信号、主变异常信号、备用开入1、备用开入2。要在变压器侧差动保护中传输6个远动信号,不可能在数据帧中设6个远动控制字。唯一的办法就是根据开入量的不同进行编码,而传送的远动控制字仍是一个字节,这样才不致影响通讯中一帧数据的长度,即不影响通信传输时间。

远动控制软件框图如图5和图6所示:

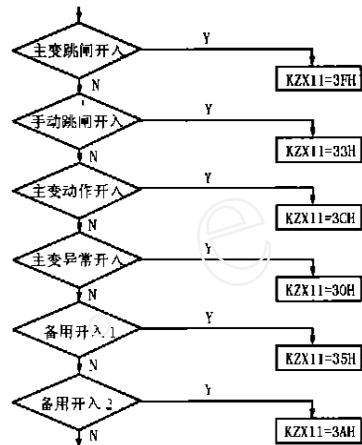


图5 主变侧差动保护远动控制框图

Fig.5 The telecontrol block diagram of differential protection at the main transformer

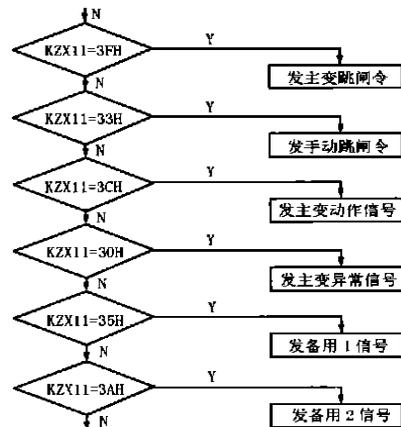


图6 母线侧差动保护远动控制框图

Fig.6 The telecontrol block diagram of differential protection at the busbar

这一工程中,主变侧的差动保护仅具备模拟量、数字量的采集、转换及传送,根据采集到的开关量的不同进行编码,母线侧的微机分相电流保护根据接收到的远动控制字的不同,发出不同的保护命令。

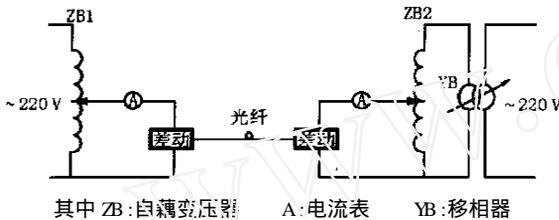
根据以上思路设计的保护系统,经过动模试验及实际运行的考验,效果满意。这一保护系统为这一工程节省一组高压断路器,具有显著的经济效益。

6 差动保护的现场试验

高压线路分相电流差动保护投运前的现场试验,一直是困扰技术人员的一个问题,由于线路两端距离的限制,现场试验不能象试验室那样方便。线路两端的电源虽然经过不同的变压器转角,但两侧

电压之间的相位是相对固定的。针对这一现场的特性,使我们在现场进行两侧差动保护的调试成为可能。我们曾经在湖南涟源钢铁公司到娄底变电站一条220 kV、800多米长的线路两侧进行对调试验。

具体的试验方案是一侧将市电经变换,将5 A的电流接入保护,另一侧保护设为单侧运行方式,市电接入移相器,移相器输出经变换,将可改变相位的电流接入本侧保护。接线图如图7所示。



其中 ZB:自耦变压器 A:电流表 YB:移相器

图7 线路差动保护现场试验接线图

Fig. 7 The test connections of line differential protection

试验时,相位固定不变的一侧接5 A电流不动,这样,这一侧以5 A的电流向对侧传输电流向量,另一侧接5 A电流,改变相位,采用一侧突加电流的试验方法,这一侧就有相位变化的电流向量供本侧和对侧进行判断。

按照差动保护通用技术标准,制动特性:区外故障,当 I_m 、 I_n 反相,且 $|I_m| > |I_n|$ 、 $|I_m + I_n| / |I_m|$ 不大于50%,保护可靠不动作;当两侧电流幅值相等时,闭锁角不小于 $+45^\circ$,不大于 -45° 。

按照上述试验方法,依据差动保护的技术标准,试验结果与制动特性完全吻合。

7 光纤保护通道联调试验

光纤保护在现场调试中,除了差动保护在现场做联调试验需要花费一定的精力外,光纤通道的测试也是一项细致工作,只有保证光纤通道正常,才能确保系统试验的进行。现场由于受到设备的限制,常用的通道试验方法是采用保护自发自收来检验光纤通道。具体分以下几步:从保护的光端机引出

的尾纤上经光连接器自发自收,检验保护自身收发是否正常。将保护尾纤经光连接器与线路光纤连接,在线路的对端,光纤经光连接器自环,检验通道是否正常。对端也可以采用类似步骤测试光纤通道。

当然,测试光纤通道还可以采用专用测试设备,但这些设备很昂贵,一般情况下现场不具备条件。所以,上述方法是现场测试光纤通道的经济实用的方法。

另外需要指出的是,光纤通道的现场维护也是很重要的工作。保证光纤接口处连接可靠;尾纤不能折,防止损坏玻璃纤维;现场注意防鼠,以防老鼠咬坏尾纤;要把多余的尾纤正确盘好,并固定好,防止开关屏门时挤坏尾纤;安装和通道试验时注意保护尾纤。

8 结束语

从以上对数字式分相电流差动保护的应用阐述和实际工程的应用实例可以看出,随着光纤通信技术的日臻成熟和OPGW架空线路的推广,数字式分相电流差动保护以其独特的优点,在高压线路保护的应用中具有广阔的前景,数字式分相电流差动保护必将在线路保护中占据重要的地位。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [2] 李保恩,等. 微机分相电流差动保护的应用研究[J]. 继电器,1998,26(3):31-35.

收稿日期: 2002-11-11; 修回日期: 2003-01-07

作者简介:

李保恩(1963-),男,高级工程师,长期从事继电保护及自动化产品的研发和管理工作;

马拥军(1971-),男,工程师,长期从事继电保护及自动化产品的工程应用;

李海峰(1974-),男,助理工程师,从事继电保护及自动化产品的研发。

The application research of optic-fibre differential protection and site test

LI Bao-en¹, MA Yong-jun², LI Hai-feng¹, YAN Qi-xiang¹, CHEN Hai-yun³

(1. XI Electric Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Power Supply Bureau, Xuchang 461000, China;

3. Yishui Power Delivery Company, Yishui 276400, China)

Abstract: Along with the progress of the microcomputer protection technology and optic-fiber communication technology, line differential protection is changing as main protection of HVAC transmission line. It's of simple principle and of clear selection. The communication is a key technology of line differential protection. Site test is always a problem for the line differential protection. The auxiliary function of the line differential protection is very convenient for site application.

Key words: line differential protection; optic-fibre communication; digital