

线路光纤纵差保护在空投变压器时误动原因简析

张晓磊, 吴堃, 文玉瑞

(吴忠供电局保护自动化所, 宁夏 吴忠 751100)

摘要: 在空投变压器时, 变压器产生的励磁涌流使两侧开关 CT 的运行状态发生了改变, 引起了两侧 CT 的暂态响应, 两侧响应特性不一致, 导致两侧光纤纵差保护装置检测到差动电流而误动。通过对 CT 暂态响应进行分析, 提出几点改进意见。

关键词: 励磁涌流; 光纤纵差保护; CT 暂态响应

A simple analysis of the misoperation reasons of line fiber differential protection when a no-load transformer is put into operation

ZHANG Xiao-lei, WU Kun, WEN Yu-rui

(Protection and Automation Department, Wuzhong Power Supply Bureau, Wuzhong 751100, China)

Abstract: When the no-load transformer is put into operation, the exciting surge generated by a transformer leads to state changes of CT, which causes CT transient response on both sides. The response characteristics of both sides' CT are different, which will result in misoperation of fiber differential protection on both sides with differential current being detected by both protective devices. This paper makes a few improvements based on the analysis of CT transient response.

Key words: exciting surge; fiber differential protection; CT transient response

中图分类号: TM773 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0145-04

0 引言

在以往发生的各种线路光纤纵差保护误动事件中, 在空投变压器时线路光纤纵差保护误动事件鲜有发生, 因此没有引起足够的重视去深究其发生原因。本文着重通过对 CT 暂态响应的分析来确定线路光纤纵差保护误动的原因, 并提出一些改进意见和措施。

1 事例

2008年4月在我局所辖变电所发生一起在空投变压器时线路光纤纵差保护误动事件, 具体情况如下:

一次主接线如图 1。

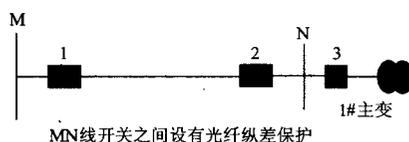


图 1 系统一次接线图
Fig.1 Electric primary system

M 站与 N 站之间有一条出线 MN 线, M 侧开关为

1, N 侧开关为 2, 而 N 站母线只接有一台变压器, 其开关为 3。在 1#主变进行五次冲击试验 (即分合 3# 开关) 过程中, 发生 2 次 MN 线光纤纵差保护装置动作跳开 1#、2#开关事件, 而 N 站 1#主变保护未动作, 3#开关依然在合。五次冲击试验中, 第三次和第五次冲击试验时线路光纤纵差保护动作。第一次至第三次冲击间隔 5 min, 因查找第三次跳闸原因, 第三次和第四次之间间隔 1 小时, 而第四次和第五次之间又间隔 5 min。根据保护配合原理, MN 线光纤纵差保护动作属于误动行为。MN 线两侧 CT 及保护配置如表 1。

表 1 两侧 CT 参数及保护配置

Tab.1 CT parameters and protection configuration of two sides

	M 侧	N 侧
光纤纵差保护装置	CSC-163A	CSC-163A
CT 型号	LB6-126W3	LB6-110W2
CT 变比	400/5	600/5
生产厂家	牡丹江第一互感器厂	阿塔其大第一互感器厂

动作后 A、B 两侧 CT 二次波形分别如下 (以其

中一次为例):

(1) M 侧装置录波及录波器录波波形

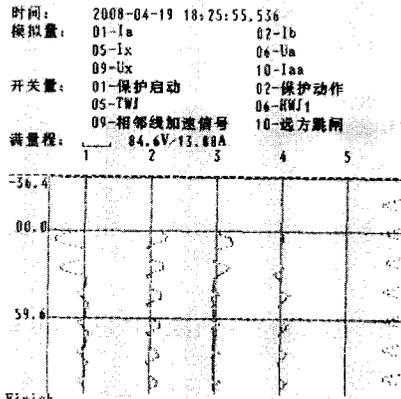


图 2 M 侧光纤纵差保护装置录波波形

Fig.2 Waveform record of M side fiber differential protection

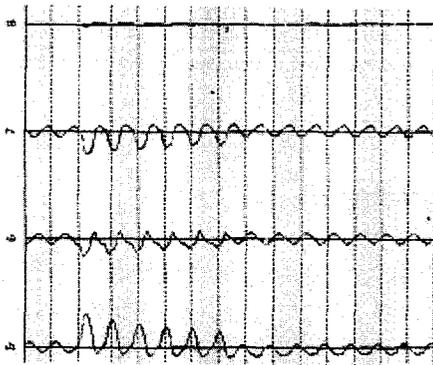


图 3 M 侧录波器录波波形

Fig.3 Waveform record of M side recorder

(2) N 侧装置录波及录波器录波波形

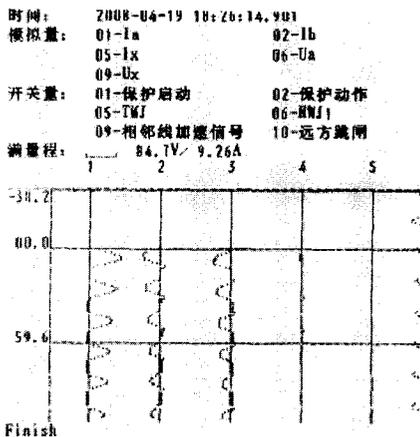


图 4 N 侧光纤纵差保护装置录波波形

Fig.4 Waveform record of N side fiber differential protection

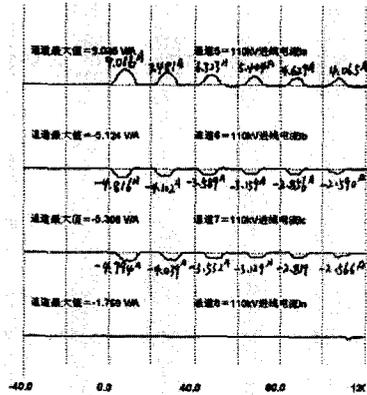


图 5 N 侧录波器录波波形

Fig.5 Waveform record of N side recorder

由上图可知, MN 线两侧, 1#、2#开关 CT 波形明显出现间断, 其中两相发生了偏移, 而且比较明显, 是典型的励磁涌流波形。以两侧 A 相波形为例, 由于有电流的突变, 根据装置说明书可以知道, 当任何一相电流突变量值连续 3 次超过突变量启动门槛值时, 保护就会启动, 在 30 ms 左右 M 侧 A 相电流突然衰减到很小, 而 N 侧 A 相电流周期性衰减, 到 68 ms 光纤纵差保护动作出口。很显然由于两侧 CT 对电流衰减不一致, 导致同一时刻差流出现致使保护装置误动。由图可知 C 相也出现这种状况, 同样是 M 侧 C 相 CT 比 N 侧 C 相 CT 对电流衰减较快。

2 励磁涌流

很显然, 空投变压器产生的励磁涌流是 MN 两侧开关 CT 流过电流致使光纤纵差保护产生差流的根本原因。

当变压器空载投入或外部故障切除后电压恢复时, 变压器电压从零或很小的数值突然升到运行电压。在这个电压上升的暂态过程中, 变压器可能会严重饱和, 产生很大的暂态励磁电流。这个暂态励磁电流称为励磁涌流。励磁涌流最大值可达到额定电流的 4~8 倍, 并与变压器额定容量有关。励磁涌流有以下特点:

- (1) 偏于时间轴一侧, 即励磁涌流中含有很大的直流分量。
- (2) 波形是间断的, 且间断角很大, 一般大于 120°。
- (3) 由于波形出现间断, 使其在一个周期内正半波与负半波不对称。
- (4) 含有很大的二次谐波分量, 不同时刻涌流中二次谐波分量与基波分量的百分比通常大于 30%, 有时可以达到 80% 及以上。

(5) 同一时刻三相涌流之和近似等于零。

影响励磁涌流大小的因素:

(1) 电源电压。电源电压越大, 励磁涌流越大。

(2) 合闸角 α 。当合闸角在 $\alpha = 0^\circ$ (即正弦波过 0 点), 励磁涌流最大。而当 $\alpha = 90^\circ$ 时, 励磁涌流最小。

(3) 剩磁 B_s 。合闸之前, 变压器铁芯中的剩磁越大, 励磁涌流越大。另外, 当剩磁 B_s 的方向与合闸之后的铁芯磁通方向相同则励磁涌流就越大, 反之励磁涌流就小。

另外, 励磁涌流是衰减的, 衰减的速度与合闸时间及变压器绕组中的有效电阻和电感有关。由此可见, MN 两侧跳闸时的电流为典型的励磁涌流波形。

3 励磁涌流对两侧 CT 影响

在大容量变压器空投时容易产生大的励磁电流, 如果 CT 选择不合适将会导致 CT 饱和, CT 饱和特性有以下几点:

(1) CT 内阻大大减小, 极限情况近似等于零。

(2) 二次电流减小且波形发生畸变, 高次谐波分量很大。

(3) 在一次故障电流波形过零点附近饱和电流互感器又能线性传递一次电流。

(4) 一次系统故障瞬间, 电流互感器不会马上饱和, 通常滞后 3~4 ms。

CT 饱和后其二次电流波形如图 6。

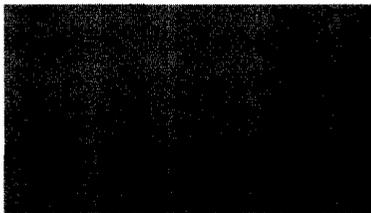


图 6 CT 饱和二次电流波形

Fig.6 The secondary current waveform of CT saturation

很显然, 以 M、N 两侧二次电流录波图来看, MN 两侧开关 CT 并没有饱和。从而排除因 CT 饱和导致光纤纵差保护误动的因素。由(1)、(2)、(3)、(4)图可见, 故障时差流主要出现在 30 ms 之后, 30 ms 之前差流还满足要求, 而在这之后, 两侧产生差流, 因此考虑两侧 CT 电流衰减过程中, CT 暂态响应特性衰减时间常数不一致导致光纤纵差保护装置出现差流而误动。

4 CT 暂态响应特性

在空投变压器前, MN 两侧 CT 流过电流均为零。而空投变压器时, 变压器将产生励磁涌流导致 CT 工作状态发生变化, 即由一个工作状态向另外一个状态的过渡, 在该过渡过程中, 电流互感器二次电流不能完全地反应一次系统的真实状态。电流互感器的等值电路如图 7。

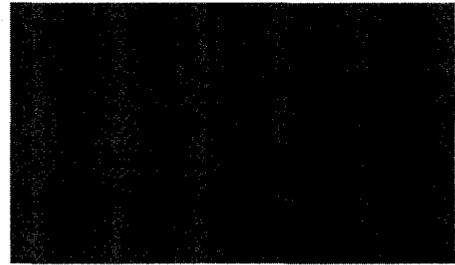


图 7 电流互感器等值电路

Fig.7 Equivalent circuit of current transformer

(1) 电流互感器的铁芯不饱和, 其一次匝数等于 1;

(2) 忽略电流互感器的有功功耗, 其励磁回路为纯电抗;

(3) 不计电流互感器一次和二级的漏抗。

由上图可列电流互感器暂态过程中的微分方程

$$L_M \frac{di'_M}{dt} = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (1)$$

$$i_2 + i'_M = i'_1 \quad (2)$$

考虑到非周期分量的存在, 则:

$$i'_1 = I'_{1m} \cos \omega t - I'_{1m} \frac{-t}{T_1} \quad (3)$$

式中: I'_{1m} 为折算到二次电流互感器一次电流幅值; T_1 为一次系统的时间常数, 它等于短路电流流过的

电阻 R_1 与电感 L_1 之比即: $T_1 = \frac{L_1}{R_1}$

令电流互感器的二次回路时间常数

$$T_2 = \frac{L_2 + L_M}{R} \approx \frac{L_M}{R}$$

(R 为二次总电阻), 二次负载的时间常数

$T_{L2} = \frac{L_2}{R_2}$, 式 (1) 就可以写成:

$$T_2 \frac{di'_M}{dt} = i_2 + T_{L2} \frac{di_2}{dt}$$

由式(1)、(2)、(3)消去 i'_2 后,并且设电流互感器二次负载为纯电阻,则 $T_{L2} \approx 0$,可得:

$$i'_m = I'_{im} \cos \delta \cos(\omega t - \delta) + \frac{T_1}{T_2 - T_1} I'_{im} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1}{T_2 - T_1} I'_{im} e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (4)$$

式中: $\delta = \arctan T_2 \omega$ 。

(4)式中的第一项为强迫分量,即暂态过程后的稳态分量,其它两相为衰减的自由分量。强迫分量的大小与励磁电感 L_M 及二次负载电阻 R_2 有关,而自由分量的大小及衰减时间除与电流互感器回路的时间常数有关之外,还与一次回路的时间常数有关。

电流互感器的测量误差,主要是由励磁电流 i'_m 的存在造成的。在暂态过程中,当电流互感器的铁芯不饱和时, i_m 的最大值约为稳态值的10倍以上。当铁芯饱和时, i_m 将更大。因此,在暂态过程中电流互感器的测量误差相当大。

设二次负载为纯电阻,则电流互感器二次电流为:

$$i_2 = I'_{im} \sin \delta \sin(\omega t - \delta) + \frac{T_2}{T_2 - T_1} I'_{im} e^{-\frac{t}{T_1}} - (I'_{im} \cos^2 \delta + \frac{T_1}{T_2 - T_1} I'_{im} e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (5)$$

由式(5)可知,在暂态过程中,电流互感器的二次电流由强迫分量及衰减的自由分量组成。各自自由分量的大小及衰减时间,除与电流互感器回路的时间常数有关之外,还与一次系统的时间常数有关。

5 简析

综上所述,影响到光纤纵差保护电流波形的因素有:

(1) 励磁涌流大小(一次电流)增大, I'_{im} 也增大,相对误差也就越大,从冲击次序和时间来看,MN两侧开关分别在第三次和第五次时跳闸。由于第一次第二次冲击导致变压器产生剩磁,会致第三次励磁涌流过大。同理,因为第四次试验间隔时间长达1小时,变压器基本无剩磁,所以励磁涌流较小,光纤纵差保护装置也未动作,而第五次和第四次冲击试验间隔时间较短,所以变压器有剩磁,导致第五次冲击试验变压器励磁涌流较大,光纤纵差保护装置动作跳闸。

(2) 流入光纤纵差保护装置的电流波形与CT等效电路中的 i'_m 、 i_2 有关,当 i'_m 小的时候, i_2 就比较大,就更能如实反应一次电流。 i_2 作为最终流入光纤纵差保护装置的电流,那么 i_2 的波形特性就

是导致光纤纵差保护误动的关键,由式(5)与两侧CT变比可知折算到二次两侧的电流是不一致的,即两侧 I'_{im} 是不一样的,但可经过光纤纵差保护装置CT调整系数达到平衡,如果MN两侧CT中 i_m A与 i'_m B没按400/600比例去计算差流,就可能导致经光纤纵差保护装置调整的 i_2 大小出现差异,也有可能导致误动。同样两侧CT型号不一致,其 L_M 是不一致的, L_M 不一致则二次回路时间常数就会产生差异。M侧经过18km到达N侧,所以一次时间常数 T_1 也不一致。根据计算,M侧时间常数比N侧多10ms左右(距离较短,忽略对地电容影响),所以根据一次回路时间常数N侧电流衰减应该快些,但根据录波图可以看出,很显然是M侧电流衰减快。

由此可见,问题主要出现在两侧时间常数 T_2 上, T_2 不仅影响了(5)中 δ 大小,而且影响了其中自由分量的大小和衰减时间。而 $T_2 = \frac{L_2 + L_M}{R} \approx \frac{L_M}{R}$ 。两侧R可以通过试验可以确定。 L_M 因试验条件限制无法确定。从MN两侧录波波形可以确定,在30ms左右时,M侧二次电流突然减小,如果 i_m A突然增大,则 i_2 必然减小。

6 结论

根据上述分析,可以确定是因为 L_M 影响了励磁电流大小,从而导致两侧电流衰减不一致造成光纤纵差保护装置误动,励磁电流又是CT测量误差产生的主要原因。在暂态过程中,当电流互感器铁芯不饱和时 i_m 最大值约为稳态值的10倍以上。当铁芯饱和时, i_m 将更大。因此,在暂态响应过程中,电流互感器的测量误差相当大。

当电流互感器结构一定时,致使 i_m 增大的原因主要是铁芯中的磁通密度的增大。因此,减小暂态过程中电流互感器 i_m 的主要途径就是减小该过程中的磁通密度。由于两侧CT特性不一致, L_M 会有很大区别,这样就造成两侧电流的不一致,将两侧CT换成同一型号与变比电流互感器,这样就会使两侧CT的 L_M 基本保持一致,这样两侧时间常数 T_2 就可以保持一致,从而使两侧波形基本保持一致,或者减小M侧电流互感器暂态过程中的磁通密度,使二次电流能更准确反应一次电流(N侧波形比较平缓的周期性减小,说明N侧CT特性较好,无需考虑)。

减小磁通密度办法有:

(1) 选择电流互感器时,适当增加一次额定电流值。

(下转第151页 continued on page 151)

只是短路部分, 范围很小, 也只能在靠近小母线一侧, 否则在以前也不能正常运行。这也充分说明切换插件的烧坏只能是由于外部原因使切换箱通过很大电流造成。

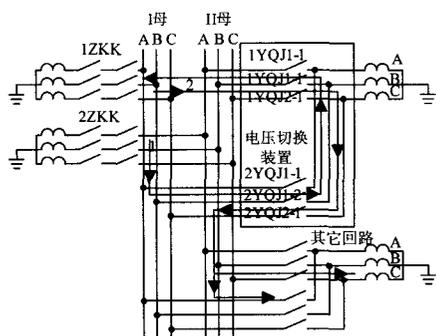


图3 电压切换装置电压回路图

Fig.3 Voltage switching device voltage circuit diagram

5) 关于两块插件一块烧毁, 一块基本没有烧毁, 只是焊点有融化现象, 仔细检查发现两块板子的印制图都是 8XJ 066 894, 但是出厂日期不一样。烧损轻微的 (II 母插件) 是 2004 年 3 月 9 日的, 贴有编 04042013; 烧损严重的 (I 母插件) 是 2003 年 3 月 22 日的。这两块板子质量存在一定的差异。

3 解决措施

1) 针对刀闸的辅助触点可靠性不高多次烧坏切换插件, 建议修复刀闸的辅助触点, 保证其完好性。或更换为真空辅助触点。

2) 用隔离开关两个辅助触点并联后去启动电压切换中间继电器, 利用其触点实现电压回路的自动切换。

3) 倒母线时必须先合母联开关。避免因倒母线过程中不带电母线 PT 反充电。或者由于两段母线

分列运行, 电压不等而产生压差烧坏切换箱。

4) 切换时必须监视并列状态, 只有当切换异常指示灯灭, 切换后的电压运行灯指示正确, 才允许拉开母联开关, 否则要检查切换回路。如果是采用双位置继电器, 那么要采用保持的双位置继电器触点监视并列状态。

5) 在电压并列时不允许带电拉开二次保险。

6) 在倒闸过程中母差保护运行方式也要做相应的变化。

4 结束语

1) 通过以上的解决措施, 我们对该市的电压切换插件烧毁问题进行跟踪, 截至目前为止, 没有再出现过类似问题。

2) 据某电气产品厂家一年的不完全统计, 因为运行操作不当引起的暂态反充电, 以及辅助触点不可靠形成的死并列造成的电压切换插件的烧毁事故达到 200 百余次。希望本篇文章能提供一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

收稿日期: 2009-01-05; 修回日期: 2009-02-13

作者简介:

李敏霞 (1968-), 女, 工程师, 从事继电保护产品设计和调试;

袁文嘉 (1971-), 男, 工程师, 从事继电保护产品设计和调试; E-mail: yuanwenjia@sohu.com

郭化冰 (1979-), 女, 助理工程师, 从事继电保护产品调试。

(上接第 148 页 continued from page 148)

(2) 尽量减小电流互感器二次负载。

(3) 采用带小气隙的电流互感器, 减少时间常数 T_2 , 从而使暂态值 i'_m 减小。

参考文献

- [1] 战学牛, 陈日红, 刘左华, 等. 空投变压器导致线路差动保护误动的事故分析 [J]. 继电器, 2007, 35 (23): 66-69, 76.
- [2] 邱关源. 电路 (第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [3] 江苏省电力公司. 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, 2007.

[4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

[5] 北京四方继保自动化股份有限公司. CSC-163 数字式线路保护装置说明书 [Z].

收稿日期: 2008-12-04; 修回日期: 2009-01-17

作者简介:

张晓磊 (1983-), 男, 助理工程师, 从事继电保护工作; E-mail: zhangxiaolei0707@163.com

吴 莹 (1981-), 男, 大学专科, 从事继电保护工作;

文玉瑞 (1981-), 男, 大学专科, 从事继电保护工作。