

## 变压器励磁涌流引起保护误动分析

王立大<sup>1</sup>, 段周朝<sup>2</sup>

(1. 浙江省火电建设公司, 浙江 杭州 310016; 2. 浙江华能玉环电厂, 浙江 玉环 317600)

**摘要:** 针对多个电厂变压器投运时的继电保护装置的误动, 根据现场的故障录波波形和数据, 判断出误动是由于主二保护装置没有正确进行励磁涌流闭锁造成的。具体是由于差动保护的二次谐波制动方式和二次谐波制动系数取值的不合理而造成的误动。分析了 T60、RCS978 谐波制动的特点; 探讨了不同厂家在变压器差动保护中利用二次谐波进行制动时采取分相、或门、三取二制动的优劣和相应方式下二次谐波制动系数定值取值的合理性, 并提出了减少涌流误动的措施。

**关键词:** 变压器; 励磁涌流; 差动; 二次谐波制动; 保护误动

### Mal-operation analysis on magnetic inrush current of power transformer

WANG Li-da<sup>1</sup>, DUAN Zhou-chao<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Thermal Power Construction Company, Hangzhou 310016, China;

2. Zhejiang Huaneng Yuhuan Power Plant, Yuhuan 317600, China)

**Abstract:** Mal-operation of the relay protection equipment occurred when the transformer was put into operation in different power plants. According to the fault wave graphics and data, the mal-operation is caused by the incorrect closedown of magnetic inrush current of the second relay protection equipment. The specific reasons are the unreasonable mode and wrong coefficient value of secondary harmonic restraint. This paper analyzes the characteristics of harmonic restraint of T60 and RCS978, and discusses the advantages and disadvantages of inrush inhibit mode including per phase, or gate, 2-out-of-3, together with their corresponding inrush inhibit level. Finally, it puts forward a measure to decrease the mal-operation of inrush current.

**Key words:** power transformer; inrush current; differential protection; secondary harmonic restraint; mal-operation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)10-0138-03

## 0 引言

现阶段变压器保护主要面临两个问题: 一是正确鉴别励磁涌流和内部短路故障, 二是正确区别内部故障和区外故障<sup>[1]</sup>。由于励磁涌流的复杂性, 在变压器空充或变压器区外故障切除时, 以及由于CT饱和、无功补偿用的并联电容或者超高压长输电线分布电容的存在, 变压器在内部故障时也存在很大的励磁涌流。目前差动保护在识别励磁涌流并可靠闭锁方面存在不少问题。特别是基于二次谐波制动原理的差动保护由于定值设定、制动模式选择上的差异造成多次保护误动。本文通过两起励磁涌流造成的保护误动, 分析不同厂家在变压器差动保护二次谐波制动模式上的不同以及如何合理获取制动系数, 减少涌流误动。

## 1 涌流误动事例

某年9月6日21时57分32秒, 浙江省某抽水蓄能

电站5420线路带桥开关5012冲击#2主变时, #2主变差动保护动作, 跳桥开关5012。

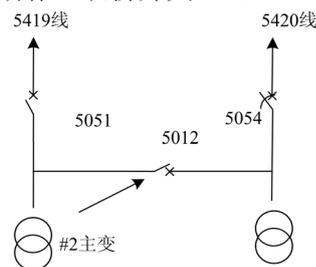
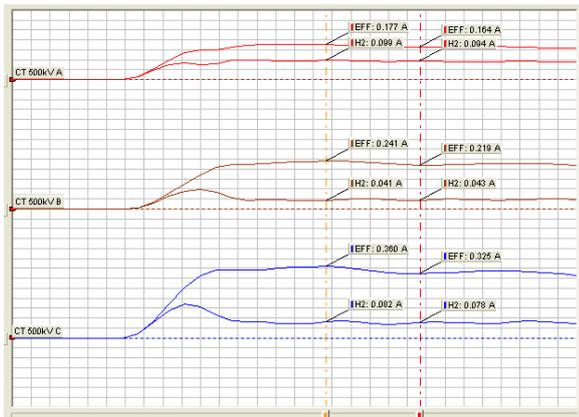


图1 系统接线图

Fig.1 Connection diagram of system

根据对一次设备进行详细的检查和主变油样分析, 未发现故障点。通过对动作时录波分析, 主变冲击过程中励磁涌流大于0.164 A, 即大于主变差动启动定值0.14 A, 主变差动保护制动电流基本小于主变高压侧额定电流0.32 A, 由此可知, 在主变冲击过程中, ABC三相均处于启动段的差动出口状态。

图2 主变差动保护动作采样数据图 (2<sup>nd</sup>/RMS)Fig.2 Samples of main transformer differential protection(2<sup>nd</sup>/RMS)

根据图2所录波形A点的数据如下:

差动电流:  $I_{op.a}=0.177$  A,  $I_{op.b}=0.241$ ,  $I_{op.c}=0.360$

二次谐波电流:  $I_{a2}=0.099$ ,  $I_{b2}=0.041$ ,  $I_{c2}=0.082$

计算所得谐波制动比:  $\eta_a = 55.9\%$ ,  $\eta_b = 17\%$ ,

$\eta_c = 22.8\%$

B点的数据如下:

差动电流:  $I_{op.a}=0.164$  A,  $I_{op.b}=0.241$ ,  $I_{op.c}=0.325$

二次谐波电流:  $I_{a2}=0.219$ ,  $I_{b2}=0.043$ ,  $I_{c2}=0.078$

计算所得谐波制动比:  $\eta_a = 57.3\%$ ,

$\eta_b = 19.6\%$ ,  $\eta_c = 24\%$ 。

分析上述数据可知AC相二次谐波分量与基波分量的比值超过整定值中二次谐波制动比20%的定值, AC相差动出口被闭锁。而B相二次谐波分量较小, 未达到20%的整定值, 因此B相差动出口未被闭锁。

由整定值表1定值可知, 主变差动保护谐波制动模式为分相制动, 因此, 差动保护B相动作出口, 跳500 kV桥开关。

表1 主变差动保护定值

Tab.1 Sets of main transformer differential protection

Operate value	0.14 A	差动启动电流
Bias	50%	比率特性
2 <sup>nd</sup> Harmonic	20%	二次谐波制动
5 <sup>th</sup> Harmonic	15%	五次谐波制动
High set oc	2.00 A	差动速断
CT ratio comp. 2-1	0.44	2侧补偿系数
Harmonic Bias	Phase blocking	分相制动

最后处理方案: 鉴于本次主变冲击过程中的二次谐波分量值最低为17%, 降低主变差动保护二次谐波制动比定值为17%, 并把逻辑分相制动改为或门

制动。

某年11月8号08时40分32秒, 省内某燃机电厂#1燃机在启动过程中, 在合隔离变开关时, 造成起备变开关跳闸, 厂用电失电。

根据对一次设备进行详细的检查未发现故障点。通过对录波数据的分析, 在合隔离变开关时, 保护C相差电流达到0.39 pu, 根据制动曲线和定值(具体见表2某燃机起备变差动保护定值), C相达到动作出口。B相二次谐波制动比最大值为22%, 而AC相二次谐波很小达不到20%的定值要求。由于电厂所取GE变压器差动保护二次谐波制动逻辑为3取2模式(即3相中有2相或2相以上被制动, 保护出口才被制动)。从而使差动保护动作出口, 跳开起备变开关。

表2 起备变差动保护定值

Tab.2 Sets of backup transformer differential protection

Pickup	0.37 pu	差动启动电流
Slope 1	40%	斜率 1
Break 1	2.000 pu	拐点 1
Break 2	4.580 pu	拐点 2
Slope 2	60%	斜率 2
Inrush Inhibit Function	Trad.2nd	传统二次谐波
Inrush Inhibit Mode	2 out of 3	3取2模式
Inrush Inhibit Level	20.0%	制动系数

最后处理方案: 根据在冲击过程中实际录取的二次谐波制动比的最小值, 主变差动保护二次谐波制动比定值由原来20%调整为16%。

## 2 减少涌流误动措施

围绕变压器励磁涌流的判别, 先后涌现出许多方法, 如电流波形特征识别法、等值电路参数法、变压器回路法、磁通特性识别法、功率差动法等<sup>[2]</sup>。其中基于波形特征识别法的二次谐波制动原理在实际的工程中广泛应用。

二次谐波制动方式主要有或门制动(一相制动多相)、分相制动和3取2制动, 但无论是采用那种制动模式, 在实际的应用中均出现过误动的情况。另外由于大型变压器铁心采用冷轧钢片后, 饱和磁通倍数由1.4降到了1.2~1.3, 使得二次谐波的含量有可能低于10%<sup>[1]</sup>, 而根据国家标准《大型机组继电保护整定导则》中给出的二次谐波制动系数定值为15%~20%。因此在该范围内设定二次谐波制动系数时存在误动的可能。

### 2.1 二次谐波制动原理新特点

目前主流保护如南瑞、GE保护等在二次谐波制

动原理上也有一些新特点。如GE最新的变压器保护T60采取了自适应谐波制动特性，即利用二次谐波比的变化动态整定制动时间，使变压器在初始充电或和应涌流工况下更为安全<sup>[3]</sup>。

二次谐波的旋转速度比基波快2倍，并且二次谐波和基波分量的相位差不断变化。T60不仅测量二次谐波及基波的幅值关系，并且通过检测两者的相角关系来保证涌流检测元件动作 / 闭锁特性的可靠性和有效性。确保内部故障时增大动作量，同时确保在二次谐波量很低的涌流下保护的可靠性。定义二次谐波比为：

$$\dot{I}_{2/1} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1 e^{j\omega t}} = \frac{I_2}{I_1} \angle \arg(\dot{I}_2) - 2\arg(\dot{I}_1)$$

即通过求出二次谐波电流相对于基波电流大小和相位的不断变化趋势。这样就可以清楚地区分励磁涌流和内部故障电流。对于励磁涌流，二次谐波比大，并且在较宽的范围内出现；对于内部故障电流，二次谐波比小，并且只在较小的范围内出现。

南瑞RCS985/978采用分相制动模式，文献[4]认为对于YnD11接线的变压器采用软件Δ-Y转换的相位补偿，即对Y侧  $I'_A = I_A - I_0$ ， $I'_B = I_B - I_0$ ， $I'_C = I_C - I_0$ 。Δ侧  $I'_a = (I_a - I_c) / \sqrt{3}$ ， $I'_b = (I_b - I_a) / \sqrt{3}$ ， $I'_c = (I_c - I_b) / \sqrt{3}$ 。采用该补偿方法不会产生对称性涌流，适合按相闭锁。

### 2.2 合理选取制动模式

由于变压器空投的时候含有较大成分的二次谐波，并且每次空投每相的励磁涌流均具有随机性。因此，用分相、或门制动还是3取2模式，是值得我们探讨的。

对于采用传统相位校正及15%二次谐波整定值的差动保护，如果设计为分相制动方式，误动可能性就很大，原因在于差流中可能有一相或两相的二次谐波含量小于15%；采用或门制动后，保护的动作为偏安全<sup>[5]</sup>，在采用不同的制动模式时，分相制动时其系数值应该比或门制动时其值相对取小。另外，对于正常方式下极少有空投运行的变压器，如发电机出口零起升压的变压器，建议采用分相制动。

### 2.3 合理取二次谐波系数定值

在制动系数的取值上，为了减少空投误动二次谐波制动系数整定的尽可能小，为确保变压器内部故障时快速动作，又希望二次谐波制动系数整定的尽可能大，因此，二次谐波制动系数整定合理与否，将对变压器能否安全可靠运行起到关键的作用<sup>[4]</sup>。

由于不同容量的变压器和不同的系统产生的励磁涌流各不相同，在实际取定值时，应该录取变压器冲击过程中励磁涌流的波形和合闸时的电源电压，并分析所录波形中励磁涌流的大小和二次谐波的分量，一般变压器的冲击次数为五次，由于每次励磁涌流都不一样，因此每次波形中二次谐波的分量不能作为统计学意义上二次谐波制动系数的分析，但仍然可以作为检验实际定值是否合理以及可靠躲过励磁涌流的重要参考。

## 3 结论

二次谐波制动的变压器差动保护应用效果是肯定的，对于二次谐波制动原理来说，合理采用二次谐波制动模式和二次谐波制动比定值，可以改善变压器空载合闸误动或变压器内部故障延时动作，但由于实际励磁涌流的复杂性，无论采用那一种判据，均存在这方面或那方面的不足。因此实际应用中，应该寻找新的原理和依靠辅助判据来弥补二次谐波制动原理的不足，提高超高压变压器差动保护的综合性能。

## 参考文献

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 2版.北京: 中国电力出版社, 2002.  
WANG Wei-jian. Electric equipment relay protection theory and application[M]. second edition. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 郝治国, 张保会, 褚云龙. 变压器励磁涌流鉴别技术的现状和发展[J]. 变压器, 2005,42 (7): 23-27.  
HAO Zhi-guo, ZHANG Bao-hui, CHU Yun-long. Trend and situation of distinguish technology of transformer magnetic inrush current[J]. Transformer, 2005, 42 (7): 23-27.
- [3] 张亮峰. GE 发变组差动保护的特点及理论分析[J]. 湖南电力, 2005, 25: 65-70.  
ZHANG Liang-feng. Analysis on GE GT differential protection's characteristic[J]. Hunan Electric Power, 2005, 25: 65-70.
- [4] 李本瑜. RCS — 978 变压器保护二次谐波制动系数整定值探讨[J]. 继电器, 2004, 32 (15): 74-75.  
LI Ben-yu. Setting probe for coefficient of secondary harmonics suppression on RCS-978 transformer protection set[J]. Relay, 2004, 32 (15): 74-75.
- [5] 刘志超. 三相变压器励磁涌流及保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (10): 58-60.

(下转第 144 页 continued on page 144)

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。

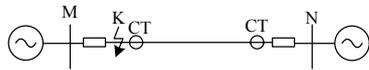


图 6 开关与 CT 间短路示意图  
Fig.6 Short-circuit between switch and CT

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。

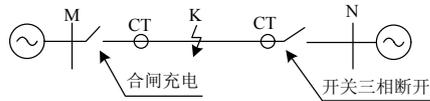


图 7 线路一侧开关合闸充电示意图  
Fig.7 One side switch of transmission line switch on

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。