

# 并列运行配电变压器分接开关异位时引发的事故分析

刘东旗

(山东德州供电公司, 山东 德州 253008)

**摘要:** 为保证并列配电变压器的安全运行, 杜绝并列运行配电变压器分接开关异位情况的出现, 笔者对其分接开关异位时产生的环流及电流异常情况作了理论计算, 分析引发的事故。对并列运行配电变压器分接开关异位, 使配电变压器线圈产生循环电流, 造成负载分配不均, 甚至会使变压器烧毁, 提出了具体的防范措施, 为防止发生配电变压器烧毁事故提供借鉴。

**关键词:** 变压器; 分接开关; 异位; 事故分析

中图分类号: TM421

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0124-02

## Analysis of Fault Due to Different Grades of Tap-changers for Distribution Transformers in Parallel Operation

LIU Dong-qi

(Dezhou Power Supply Company, Dezhou 253008, China)

**Abstract:** To guarantee parallel distribution transformers working safely and prevent tap-changers from different grades, theoretical calculation of the circulation current and the abnormal current due to different grades of tap-changers is conducted, and fault analysis is performed. The results show that different grades of tap-changers in parallel distribution transformers lead to circulation current in transformers coils to unbalance the load allocation, or even burn the transformers. Some measures to avoid the different grades are suggested.

**Key words:** transformer; tap-changer; different grade; fault analysis

### 0 引言

为满足用电量增加的需要, 增加配电变压器(以下称变压器), 进行并列运行, 经济、方便、灵活, 是用户的首选。但由于管理和技术上的原因, 出现并列运行变压器分接开关的挡位不同, 致使变压器变比不相等, 影响变压器运行的经济性和安全性, 造成事故的发生, 应加以注意。

### 1 分接开关异位原因

变压器并列运行的 3 个必要条件是变比相等、接线组别相同、阻抗电压的百分值相等, 其中接线组别在变压器出厂时已被固定, 而分接开关挡位的变化会造成变比的变化, 一旦并列运行变压器分接开关的挡位不同, 就会造成变比不相等。

#### 1.1 新旧变压器分接开关位置不一致

变压器的分接开关一般分高档、中档、低档, 新变压器出厂时一般被固定在中档, 而已经运行的变

压器由于调整电压等原因, 其分接开关的档位不一定在中档, 而在新变压器的安装和试验时, 没有对变压器的分接开关的位置进行核查, 就将它们投入运行。

#### 1.2 工作中的操作

在对变压器分接开关进行测试时, 改变了分接开关的位置, 没有复位, 或者在进行调整电压时, 并列变压器的分接开关的位置不一致。

#### 1.3 分接开关故障

分接开关故障, 不能调整到位, 实际档位与所示档位有差异, 或者分接开关与线圈的触头接触不良, 电压不稳定等。

### 2 分析

并列运行变压器分接开关的挡位不同, 会造成变比不相等(同时, 阻抗电压也会不同), 现在将空载时和带载时的情况分别进行分析。

#### 2.1 空载

图 1 为两台变比不等的变压器并列。当第 1 台变压器的变比  $K$  和第 2 台变压器的变比  $K'$  不等时,

收稿日期: 2008-10-25; 修回日期: 2008-12-26

作者简介: 刘东旗(1958-), 男, 山东阳谷人, 工程师, 从事供电设备技术工作。

在相同的一次电压  $U_1$  作用下,第1台变压器的二次空载电压  $U_2$  和第2台变压器的二次空载电压  $U_2'$  不相等,就会出现电压差。在电压差的作用下,变压器的并列线圈间会产生循环电流  $I_h$  (也叫平衡电流),循环电流可用下式计算

$$I_h = \frac{\frac{U_1}{K} - \frac{U_1}{K'}}{\frac{Z_d}{Z_d+Z_d'}} = \frac{U_2 - U_2'}{Z_d + Z_d'} \quad (1)$$

式(1)中,  $Z_d$ 、 $Z_d'$  分别为第1台变压器、第2台变压器折算到二次侧的短路阻抗。

因为变压器的短路阻抗常由短路电压  $U_d$  来表示,为了便于计算,可由  $Z_d = \frac{U_d}{100} \times \frac{U_e}{I_e}$  ( $U_e$ 、 $I_e$  为电压、电流额定值)换算出短路电压  $U_d$ 。

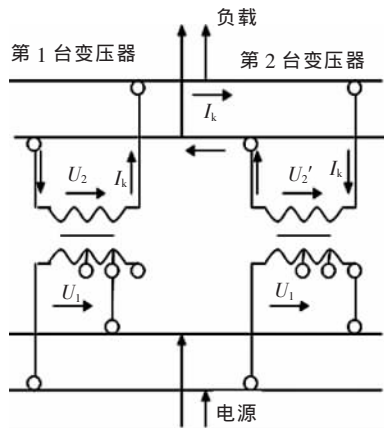


图1 两台变比不等的变压器并列

若第2台变压器容量大,  $I_e' > I_e$ , 并令其两台变压器的二次额定电流之比为  $\beta = \frac{I_{2e}'}{I_{2e}}$ , 又设  $\alpha = \frac{U_2 - U_2'}{U_2} \times 100\%$ , 则  $I_h = \frac{\alpha I_{2e}}{U_d + U_d' / \beta}$ ,  $U_d$ 、 $U_d'$  分别为两台变压器的短路电压。

若两台变压器并列运行,其容量  $S = 200 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ,  $S' = 315 \text{ kV} \cdot \text{A}$ , 此时高压进线电压为  $10 \text{ kV}$ , 变压器低压额定电压均为  $0.4 \text{ kV}$ ,  $U_d = U_d' = 4.2\%$ 。当第1台变压器高压分接开关的位置在中档  $10 \text{ kV}$ , 第2台变压器高压分接开关的位置在高档  $10.5 \text{ kV}$  时,第1台变压器的低压电压  $U' = 0.4 \text{ kV}$ , 第2台变压器的低压电压  $U' = 10 \times 0.4 / 10.5 \text{ kV}$ 。

$$\alpha = \frac{U - U'}{U'} \times 100\% = \frac{0.4 - 10 \times 0.4 / 10.5}{10 \times 0.4 / 10.5} = 5.00\%$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} = \frac{200}{\sqrt{3} \times 0.4} = 288.68 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{S'}{\sqrt{3} \times U} = \frac{315 \times 10.5}{\sqrt{3} \times 4} = 477.41 \text{ A}$$

$$\beta = \frac{I_2'}{I_2} = \frac{477.41}{288.68} = 1.65$$

$$I_h = \frac{5.00 \times 288.68}{4.2 + 4.2 / 1.65} = 213.98 \text{ A}$$

$$\frac{I_h}{I_{2e}} \times 100\% = \frac{213.98}{288.68} \times 100\% = 74.12\%$$

其他条件不变,当第1台变压器高压分接开关的位置在低档  $9.5 \text{ kV}$  时,其低压电压  $U' = 10 \times 0.4 / 9.5 = 0.4 \text{ kV}$ 。

$$\alpha = \frac{U - U'}{U'} \times 100\% =$$

$$\frac{10 \times 0.4 / 9.5 - 10 \times 0.4 / 10.5}{10 \times 0.4 / 10.5} = 10.53\%$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} = \frac{200}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.4 / 9.5} = 274.25 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{S'}{\sqrt{3} \times U} = \frac{315 \times 10.5}{\sqrt{3} \times 4} = 477.41 \text{ A}$$

$$\beta = \frac{I_2'}{I_2} = \frac{477.41}{274.25} = 1.74$$

$$I_h = \frac{10.53 \times 288.68}{4.2 + 4.2 / 1.74} = 629.67 \text{ A}$$

$$\frac{I_h}{I_{2e}} \times 100\% = \frac{629.67}{288.68} \times 100\% = 218.12\%$$

可以看出,变压器分接开关的位置不同时,就会产生环流,并且变压器分接开关的档位差别越大,循环电流就越大,可超过小容量变压器额定电流的两倍,变压器空载时这么大的环流不仅占了变压器容量,大大增加了变压器的损耗,减少了变压器应带的额定负荷,更严重的是会烧坏变压器。

### 2.2 带载

当变压器二次侧带上负荷时,设  $Z_d$  为第1台变压器的短路阻抗,  $Z_d'$  为第2台变压器的短路阻抗,  $Z_F$  为负荷阻抗,  $I_F$  为负载电流,  $U_F$  为负载电压,且  $I_F = I_1 + I_2$  和  $I_F Z_F = U_F$ ,  $I_1$ 、 $I_2$  分别为在总电流为  $I_F$  的境况下第1台、第2台变压器实际担负的电流,  $K$ 、 $K'$  分别为第1台、第2台变压器的变比,且  $K' > K$ 。

$$U_F = \frac{U_1}{K} - Z_d I_1 = \frac{U_1}{K'} - Z_d' I_2$$

$$\frac{U_1}{K} - \frac{U_1}{K'} = Z_d' I_2 - Z_d I_1 = Z_d' (I_F - I_1) - Z_d I_1 =$$

$$Z_d' I_F - Z_d' I_1 - Z_d I_1 = Z_d' I_F - I_1 (Z_d' + Z_d)$$

$$I_1 (Z_d' - Z_d) = \frac{U_1}{K} - \frac{U_1}{K'} + Z_d' I_F$$

$$I_1 = \frac{Z_d' I_F + U_1 (\frac{1}{K} - \frac{1}{K'})}{Z_d + Z_d'}$$

$$I_2 = I_F - I_1 = I_F - \frac{Z_d' I_F + U_1 (\frac{1}{K} - \frac{1}{K'})}{Z_d + Z_d'}$$

$$\frac{Z_d I_F - U_1 (\frac{1}{K} - \frac{1}{K'})}{Z_d + Z_d'}$$

可见,第1台变压器的二次电流为其负载二次电流加上环流,第2台变压器的二次电流为其负载二次电流减去环流,可得出 (下转第129页)

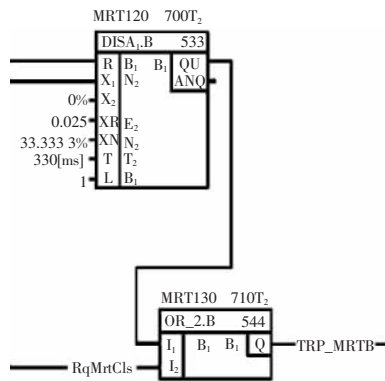


图4 修改后的82MRTB保护逻辑

82MRTB的逻辑之后,再次进行金属/大地回线转换试验,转换能正常进行。在转换过程中模拟开关故障,转换顺序能按照要求返回,证明该逻辑修改是正确的。

修改后的程序,避免了程序处理顺序不当造成的0050重合。更重要的是,该程序通过系统调试试验验证,避免了在正常运行中,由于直流保护逻辑存在缺陷,导致在金属回线/大地回线转换过程中,大负荷带电频繁分合直流开关,而可能造成的开关损坏甚至爆炸的严重后果。

#### 4 结语

在直流输电系统中,大地回线/金属回线的转换是十分重要的操作。笔者主要以贵广二回直流工程为例,介绍了大地回线/金属回线转换的原理、过程

以及转换过程中的特殊性,并结合调试和运行实例,分析了直流输电工程金属回线与大地回线转换过程中出现的异常情况,给出了分析方法和相应的解决方案,避免了将来在运行中因为直流保护程序的缺陷,导致在金属/大地回线转换过程中频繁分合直流开关而可能引起的严重后果。另外,贵广直流工程的转换实例也给现场运行工作提供了参考。

#### 参考文献:

- [1] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.
- [3] 李长益. 直流单极运行对交流变压器的影响[J]. 华东电力, 2005, 33(1): 36-39.
- [4] 严宇, 朱伟江, 刘皓, 等. 葛南直流输电系统中大地回线和金属回线转换的研究[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 1-4.
- [5] XJ-SIEMENS. Main Circuit Parameters, XJ-Siemens Study Report [R]. XuChang: XJ-SIEMENS, 2005.
- [6] XJ-SIEMENS. DC Protection, XJ-Siemens System Information Manual[R]. XuChang: XJ-SIEMENS, 2005.
- [7] 杨洁民, 宋天奇. 贵广回直流输电系统调试期间控制保护系统发现的问题及解决方法[J]. 电力建设, 2008, 29(8): 33-36.
- [8] XJ-SIEMENS. Pole Control, XJ-Siemens System Information Manual[R]. XuChang: XJ-SIEMENS, 2005.
- [9] XJ-SIEMENS. DC Station Control, XJ-Siemens System Information Manual[R]. XuChang: XJ-SIEMENS, 2005.

(上接第125页)

$$\frac{Z_d I_F - U_1 \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{K'} \right)}{Z_d + Z_d'} < \frac{Z_d' I_F + U_1 \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{K'} \right)}{Z_d + Z_d'}$$

因此,  $I_2 < I_1$ 。若令  $I_1 = I_{e1}$  ( $I_{e1}$  为第1台变压器额定电流), 此时两台变压器的最大容许负载电流  $I_{ef}$  为

$$I_{ef} = \frac{I_{e1} (Z_d + Z_d') - U_1 \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{K'} \right)}{Z_d}$$

可见, 并列变压器的带荷能力受变比较小的一台的额定容量所限制, 如果按变比较大的一台的额定容量来带负荷, 变比较小的一台将会过负荷, 甚至被烧毁。

#### 3 措施

##### 3.1 严格管理

严格分接开关管理, 制定规章制度, 对分接开关的档位操作、检修、试验、并列变压器分接开关的档位的核对等明确要求, 建立档案, 对分接开关的档位、档位切换的时间、操作人、检修及试验情况进行记录。

##### 3.2 检查试验

在变压器交接、大修、更换新分接开关或运行2年后的变压器, 必须测量其绝缘电阻值、直流电阻值, 核对档位。

##### 3.3 规范操作

熟练掌握分接开关的换档操作的技能, 按照操作规程及有关规定进行操作, 做好档位的记录及核对, 确保并列变压器分接开关档位的一致。

#### 4 结语

变压器并列运行分接开关的异位, 造成并列运行变压器的变比不相等, 空载时, 变压器线圈就会产生循环电流, 增加变压器的损耗, 减少变压器应带的额定负荷, 并且变压器分接开关的档位差别越大, 循环电流就越大, 甚至可能烧坏变压器; 带载时, 变压器负载分配不匀, 变比较小的会过负荷, 甚至被烧毁, 变比较大的负荷达不到额定容量, 损耗大, 容量得不到充分使用。应该采取严格管理、检查试验、规范操作等措施, 确保并列变压器的安全、经济运行。