

# 西门子 7UT612 装置零序差动保护原理及 CT 极性整定分析

李兴, 郭卫民

(中国南方电网超高压输电公司, 广东 广州 510405)

**摘要:** 差动保护作为变压器内部故障的主保护, 是变压器保护的重中之重, 零序差动保护作为变压器差动保护之一, 尤其值得引起我们的重视。介绍了西门子 7UT612 装置的零序差动保护的基本原理、动作判据等, 并结合贵广直流工程调试阶段第一次对换流变充电时零序差动保护 87G 误动导致充电试验失败的实例, 阐述 7UT612 零序差动保护的特性以及在零序差动保护中性点 CT 极性整定过程中应该注意的问题, 为日后现场调试零序差动保护提供借鉴作用。

**关键词:** 零序差动保护; 中性点 CT 极性; 故障分析

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1003-4897(2006)18-0062-04

## 0 引言

随着国内电力发展速度加快, 西门子保护装置在国内得到越来越广泛的使用, 与国内厂家装置相比有自身特点, 因此在调试整定过程中也有需要特别注意的地方, 故笔者认为很有必要进行详细的分析, 以供大家使用该类产品时借鉴。

## 1 换流变保护装置 7UT612 及零序差动保护的特点

### 1.1 7UT612 保护装置的特点

7UT6 系列保护装置除了继承早期产品原有的快速、可靠、安全等优点之外, 在部分保护原理上做了改进。7UT612 采用强大的 32 位微处理器, 装置的采样、处理以及跳闸输出全过程完全数字化处理。7UT612 内部主处理回路、测量控制回路以及电源回路均采用完全的电气隔离处理, 具有很高的可靠性。

7UT612 采用 2 次谐波制动, 可防止空载合闸励磁涌流导致保护误动; 采用 3、5 次谐波对过励磁进行制动; 采用多段比率制动及差动速断, 实现对保护对象内部轻微故障的灵敏检测以及内部严重故障的快速切除; 对直流分流和 CT 饱和不灵敏, 有很高的稳定性; 内置互感器矢量组匹配和 CT 变比系数完全数字化匹配, 不需要额外的中间变流器。同时, 可以使用软件设置改变 CT 的极性, 以矫正 CT 的极性, 不需要改变硬接线, 极大地方便了现场调试。

### 1.2 零序差动保护的特点

零序差动保护具有不平衡电流小, 动作整定电流小, 仅涉及  $Y_n$  绕组本身, 与磁路无关, 与励磁涌

流也无直接关系等特点。变压器高压绕组 ( $Y_n$ ) 最常见故障为单相接地短路, 增设零序差动保护可快速有效地切除故障。单相接地短路故障时相对相间差动保护 (主要反应相间、匝间, 对单相接地也有一定灵敏度), 零序差动保护具有更高的灵敏度。零序差动是最少受励磁涌流影响的一种变压器差动保护<sup>[1]</sup>。

零序差动保护仅在变压器绕组靠近中性点 (占整个绕组 2%) 处发生接地故障, 相间差动保护灵敏度不足时方才显示出其灵敏度高的优越性。但是一方面在靠近中性点处电压很低, 发生故障的几率很小, 被短路的匝数少, 故障危害不大; 另一方面零序差动保护也不可能没有死区, 其死区有多大还未深入研究<sup>[2]</sup>。因此装设零序差动保护的必要性在国内一再引起讨论。但是已安装零序差动保护的, 对于中性点 CT 极性的整定应引起我们的注意, 防止由于 CT 极性整定错误而导致保护误出口。

## 2 零序差动保护 (87G) 原理及其动作特性

### 2.1 零序差动保护的基本原理及动作判据

零序差动保护原理如图 1, 定义电流流向保护区域方向为保护正方向。

系统正常运行时, 中性点零序电流  $3I'_0 = 0$ , 自产零序电流  $3I''_0 = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 0$ 。当系统发生区内接地故障时 (图中  $f_1$ ), 中性点零序电流  $3I'_0$  以及自产零序电流  $3I''_0$  大小相同相位一致, 此时零序差动具有很高的灵敏性, 保证可靠动作。当系统发生区外接地故障时 (图中  $f_2$ ), 对于零序差动保护而言是穿越性电流,  $3I'_0$  与  $3I''_0$  大小相同相位相反, 保证

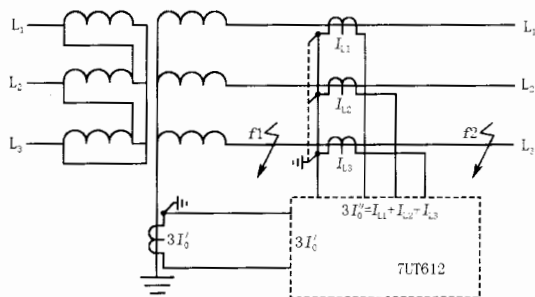


图1 零序差动保护原理图

Fig. 1 Principle of zero-sequence differential protection

零序差动可靠不动作。

7UT612 装置中零序差动保护的启动条件如下:

$$3I_0'' > I_{REF>}$$

其中:  $I_{REF>}$  为装置内整定动作定值。

当满足 7UT612 装置的启动条件后, 装置启动元件动作并开放零序差动保护。若此时满足装置的比幅、比相跳闸特性并且在附加稳定区域之外时, 保护马上出口动作。装置的比幅、比相跳闸特性以及附加稳定区域特性在下文中进行介绍。

## 2.2 零序差动保护的比幅跳闸特性

零序差动保护的動作电流只与中性点电流有关。定义動作电流  $I_{REF} = |3I_0'|$ , 同时定义稳定电流  $I_{rest} = k \cdot (|3I_0' - 3I_0''| - |3I_0' + 3I_0''|)$ , 其中  $k$  是制动系数, 可假设为 1。对系统故障分下面三种情况进行分析:

1) 区外故障时,  $3I_0'$  与  $3I_0''$  幅值相等相位相反,  $3I_0' = -3I_0''$ , 此时,

$$I_{REF} = |3I_0'|,$$

$$I_{rest} = |3I_0' - 3I_0''| - |3I_0' + 3I_0''| = 2 \cdot |3I_0'|;$$

2) 区内三相接地故障时, 区内发生接地故障, 零序电流由变压器中性点提供, 因此  $3I_0'' = 0$ , 此时,

$$I_{REF} = |3I_0'|,$$

$$I_{rest} = |3I_0' - 3I_0''| - |3I_0' + 3I_0''| = 0;$$

3) 区内不平衡接地故障时区内发生接地故障, 零序电流由变压器中性点和系统提供, 假设  $3I_0'$  与  $3I_0''$  幅值以及相位均相等,  $3I_0' = 3I_0''$ , 此时,

$$I_{REF} = |3I_0'|,$$

$$I_{rest} = |3I_0' - 3I_0''| - |3I_0' + 3I_0''| = -2 \cdot |3I_0'|;$$

由于制动电流不可能为负数, 此时认为  $I_{rest} = 0$ 。

从上述分析可知, 当发生区内故障时制动电流均为零, 此时零序差动对中性点电流非常敏感, 流过中性点电流一旦达到定值保护马上就动作。相应的, 当发生区外故障时, 制动电流为动作电流的 2 倍, 此时保护动作电流即使超出定值也因受到制

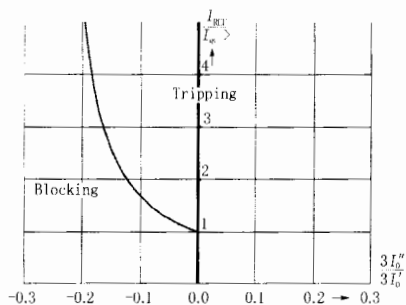


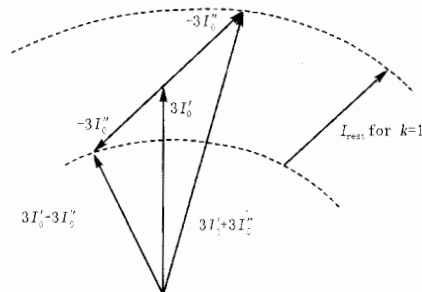
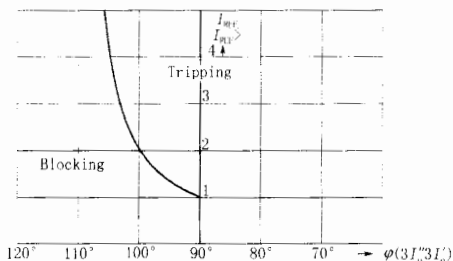
图2 比幅动作特性曲线

Fig. 2 Tripping characteristic of amplitude ratio  $3I_0''/3I_0'$ 

电流的限制而不动作。7UT612 零序差动保护的动作为曲线如图 2 所示, 其中  $I_{REF>}$  为动作定值。

## 2.3 零序差动保护的比相跳闸特性

中性点 CT 与三相 CT 的饱和程度不一致将引起 CT 二次侧基波电流的相位变化, 从而导致制动量的大小变化。当  $3I_0''$  与  $3I_0'$  之间的相角差 ( $3I_0''$ ;  $3I_0'$ ) =  $90^\circ$  时, 制动量为零。中性点电流  $3I_0''$  与三相电流之和  $3I_0'$  的矢量图如图 3 所示。

图3 区外故障时  $3I_0''$  与  $3I_0'$  的矢量图Fig. 3 Vector of  $3I_0''$  and  $3I_0'$  during external fault图4  $3I_0''$  与  $3I_0'$  幅值相等时的比相动作特性曲线Fig. 4 Tripping characteristic of phasor comparison at equal amplitude  $3I_0'' = 3I_0'$ 

制动量的大小与制动系数  $k$  的关系为  $I_{rest} = k \cdot (|3I_0' - 3I_0''| - |3I_0' + 3I_0''|)$ , 而  $k$  则与限制相角  $\varphi_{limit}$  存在着固定的关系式。在 7UT612 装置内取  $k = 2$ , 取  $\varphi_{limit} = 110^\circ$ 。当  $|3I_0'| = |3I_0''|$  时, 随着  $3I_0'$  与  $3I_0''$  之间的相角差的增大, 动作电流的门槛值将逐渐增大到无穷大, 如图 4 所示。由于装置内  $k$  值设定为

2, 对应  $\varphi_{\text{limit}}$  为  $110^\circ$ , 也就是意味着  $\varphi(3I''_0; 3I'_0) \geq 110^\circ$  时, 保护不可能动作出口。

### 2.4 零序差动保护附加稳定区域

为了避免由于 CT 之间的变比差异和装置内部变化引起的误差, 动态抬高动作门坎值可以提高稳定性。零序差动保护中可通过所有电流的代数和成比例的抬高动作门坎值, 图 5 中 1313 段即为提高的定值段, 其中  $\sum |I| = |I_{L1}| + |I_{L2}| + |I_{L3}| + |3I''_0|$ 。通过设定 1313 段的斜率即可确定附加的稳定区域的范围。

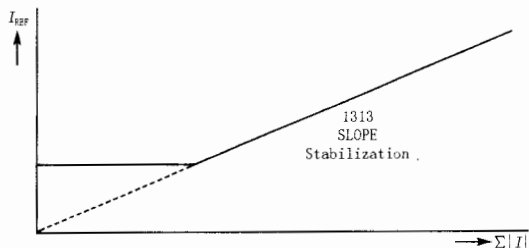


图 5 附加的稳定区域

Fig. 5 Increasing the pickup value

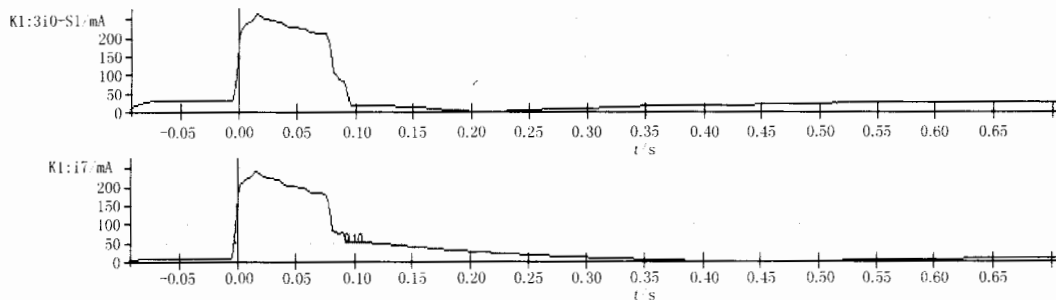


图 6 电流有效值波形图

Fig. 6 Wave form of the virtual current value

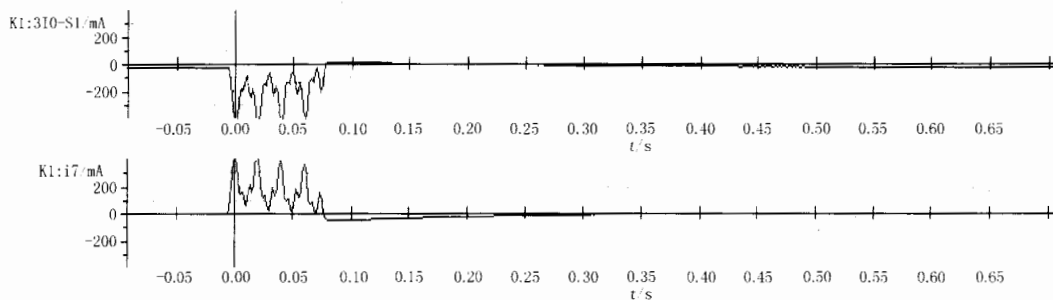


图 7 电流瞬时值波形图

Fig. 7 Wave form of the instantaneous current value

由图 8 中可以看出, 在实现零序差动保护功能时, 中性点 CT 的极性决定了装置内部 Power System Data 1 0230 地址 Grounded Electrode versus 定值。当中性点 CT 二次侧电流从装置 Q7 端子流入时, 0230

## 3 零序差动误动作事件分析

### 3.1 故障录波分析

2004 年 4 月 14 日, 肇庆换流站对极 2 换流变进行第一次充电试验。4 月 15 日 00:52 肇庆换流站接到调度命令合上 5013 开关对极 2 换流变充电。00:52:48 极 2 换流变 Y/Y 绕组差动保护装置 7UT612 以及换流变 Y/D 绕组差动保护装置 7UT612 的零序差动保护 87G 均动作出口跳开 5013 开关, 极 2 换流变充电试验失败。调用极 2 换流变 Y 绕组差动保护以及换流变 D 绕组差动保护 7UT612 内部录波数据分析研究, 发现换流变 1.1 套管 CT 三相电流相加产生的零序电流  $3I''_0$  与中性点 CT T3 直接获取到的零序电流  $I_7$  的有效值的波形基本上一致, 幅值基本相同, 如图 6 所示。而  $3I''_0$  与  $I_7$  的瞬时值的波形也基本一致, 但是方向却刚好相反, 如图 7 所示。

### 3.2 中性点 CT 极性的整定方法及事故原因

差动保护装置 7UT612 中的零序差动保护 87G 中性点 CT 极性的整定原理如图 8 所示。

地址定值为 Terminal Q7; 当中性点 CT 二次侧电流从装置 Q8 端子流入时, 0230 地址定值为 Terminal Q8。

检查 7UT612 装置内零序差动的相关定值, 发现 Power System Data 1 0230 地址 Grounded Electrode

versus 定值为 Terminal Q7,与保护处所下定值单一一致。由此分析初步认为中性点 CT T3 二次回路接反,导致  $I_0$  电流反向。当对换流变充电时,由于励磁涌流使得换流变三相电流不平衡,此时  $3I'_0$  方向应为保护负方向。三相不平衡电流导致中性点产生零序电流,此时  $3I'_0$  的方向实际应该为保护正方向。当由于中性点 CT 极性的接反,此时认为  $3I'_0$  方向也为保护负方向。在比幅动作特性曲线图中  $3I'_0 / 3I''_0 \approx 1$ ,而在比相动作特性曲线图中  $\varphi(3I'_0; 3I''_0) \approx 0^\circ$ ,此时保护制动量基本为零,保护装置误判断为区内故障, $3I'_0$  只要达到动作门坎值保护马上就动作出口。

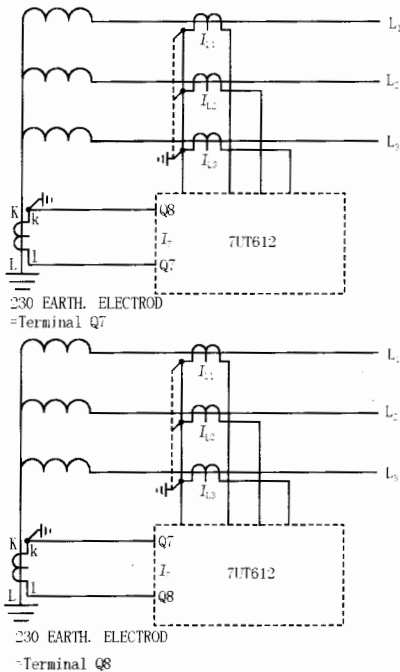


图 8 中性点零序 CT 极性设定

Fig. 8 Polarity setting for the measured current input

对现场二次接线检查,发现二次与图纸完全符合,排除中性点 CT T3 二次回路接反的可能性。对现场实际接线进行检查过程中发现现场接线示意图如图 9 所示。

由现场接线示意图分析可以得到,当零序差动保护区外发生故障时,所产生的零序电流经由大地通过中性点流入换流变网侧。由现场中性点 CT 的极性情况,此时 T3 的二次侧零序电流从 Q8 流入 7UT612,对比图 8 中性点 CT 极性的参考设定方法,差动保护装置 7UT612 的 Power System Data 1 0230 地址中性点零序 CT 极性定值应该为 Terminal Q8。图 8、图 9 中中性点 CT 二次侧单点可靠接地只作为防止 CT 发生绝缘故障时一次高压串入二次回路及

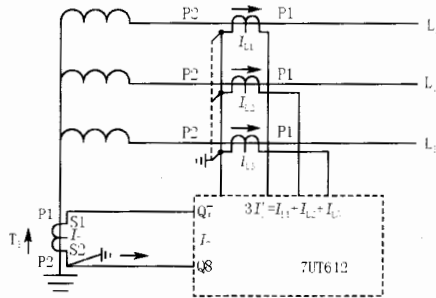


图 9 现场接线示意图

Fig. 9 Restricted earth fault protection on an earthed transformer winding

控制保护设备之用,接地点的位置并不能作为 7UT612 装置内 Power System Data 1 0230 地址 Grounded Electrode versus 定值的整定依据。

由以上分析可知,由于差动保护装置 7UT612 装置内 Power System Data 1 0230 地址 Grounded Electrode versus 定值整定错误,使得中性点 CT 的极性相反,其作用等同于对中性点 CT 的二次接线反接,从而导致零序差动保护误判励磁涌流为区内故障而误动作。

#### 4 结束语

由上述分析可知,影响零序差动保护动作正确性的一个非常关键的因素是要保证中性点零序 CT 极性的正确性。现场的零序差动保护常常因为中性点零序 CT 极性接反或者定值方向整定错误,导致零序差动保护误动<sup>[3]</sup>。

本文着重介绍了 7UT612 内零序差动保护的基本原理,并结合肇庆换流站换流变保护零序差动误动情况对零序差动保护中 CT 极性的整定方法进行了详细说明,为保护装置的定值整定及定检提供参考依据。

#### 参考文献:

[1] 王维俭,王祥珩,桂林,等. 主设备保护技术发展新动向[J]. 继电器,2004,32(1):1-5.  
WANG Wei-jian, WANG Xiang-heng, GUI Lin, et al. New Development of Protection Technique for Electric Main Equipment [J]. Relay, 2004, 32 (1): 1-5.  
[2] 朱声石. 变压器零序差动保护的讨论[J]. 电力自动化设备,2003,23(10):5-8.  
ZHU Sheng-shi. Discussion on Transformer Zero-sequence Current Differential Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (10): 5-8.