

# 基于相间电压幅值比较原理的 PT 断线检测

张悛宁<sup>1</sup>, 索南加乐<sup>1</sup>, 徐丙垠<sup>2</sup>, 陈平<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2 山东科汇电气股份有限公司, 山东 淄博 255087)

**摘要:** 提出一种基于相间电压幅值比较原理的 PT 断线检测方法。该方法主要是通过三个线电压幅值的最大值和最小值的比值运算进行 PT 断线判断的。该判据能够同时适用于电力网小电流接地系统 Y 形和 形接线的 PT 一次侧和二次侧断线检测, 可以有效区分小电流接地故障、母线失压等, 便于在一般的微机保护、测控、自动装置上实现。现场运行实践证明该判据是正确可靠实用的。

**关键词:** 电压互感器; PT 断线; 判据

**中图分类号:** TM644 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)12-0022-05

## 0 引言

电压互感器有多种接线方式, 有时同一变电所内就安装有多个不同接线方式的电压互感器。发生 PT 断线故障时, 不同接线方式下的 PT 二次回路电压异常表现也不同, 如果不能对 PT 断线进行正确的判断, 将严重影响继电保护及自动装置的正确动作, 进而造成系统故障。目前, 电力网小电流接地系统的 PT 断线检测方法通常是针对 Y 形接线方式的电压互感器, 而且对 PT 二次侧的负荷联接方式分析不足, 偶有误判断现象发生<sup>[1]</sup>。因此对各种接线方式下的 PT 断线检测都不容忽视。例如在铁路自动闭塞配电所内母线电压经由 Y 形接线的电压互感器采集, 自闭/贯通线路电压经由 形接线的电压互感器采集, 自闭/贯通线路电压的变化与自闭/贯通线路自动装置的正确动作关系十分密切<sup>[2]</sup>, 所以对 形接线 PT 的断线检测就显得尤为重要。

目前国内厂家的各种保护装置中均具备 PT 断线检测功能, 它们对 PT 对称断线的判断方法基本相同, 不对称断线的判据却不尽相同。其中具有代表性的两种判据如下: 负序电压大于 8 V。PT 发生不对称断线时存在负序电压, 而未发生断线和单相接地故障时负序电压为零。该判据的实现需要计算负序电压; 三相电压的向量和大于 18 V, 并且至少有一线电压的模值之差大于 20 V。三相电压的向量和大于 18V 是不对称断线的主要特征, 但是对于 形接线的 PT, 保护装置很难通过直接采集或计算得到相电压值。线电压模值差大于 20 V 用来区分断线故障和单相接地故障。该判据灵敏度不足, 偶有误判断现象发生, 文献 [1] 对此有详细的论述。

因此, 有必要寻找一种新的 PT 断线判据。本文对各种接线方式下的 PT 断线进行了详细分析, 尝试寻找了一种同时适用于 Y 形和 形接线的 PT 一次侧和二次侧断线检测判据, 可以有效区分小电流接地故障、母线失压等, 并便于在一般的微机保护、测控、自动装置上实现。

## 1 电压互感器的联接

### 1.1 PT 接线方式

电压互感器较常用的接线方式有: 形接线, 如图 1(a)所示的不完全星形接线(也称 V-V 接线); Y 形接线, 如图 1(b)所示的开口三角形星形接线等。

V-V 形接线即由两台单相电压互感器接成, 用于测量各相间电压, 但不能测量相电压。Y 形接线用于三相五柱式电压互感器, 其一次及主二次绕组均接成星形, 且中性点直接接地, 可测量各相间电压和相对地电压, 辅助二次绕组接成开口三角形, 供绝缘监察用。

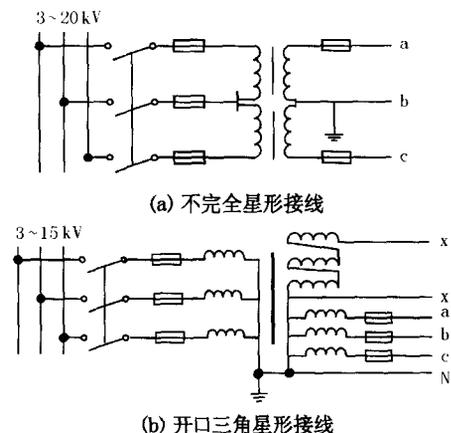


图 1 电压互感器接线方式

Fig 1 Connection mode of voltage transformer

## 1.2 PT二次绕组与负荷的联接方式

在变电站中,PT二次回路通常接有电度表、保护装置或继电器等负荷。把PT二次输出看作是三相对称电源,如图1(a)和图1(b)接线方式下的PT二次绕组分别称之为三角形电源和星形电源。三相负载也有星形和三角形两种接线方式,分别称之为星形负载和三角形负载。PT二次侧的三相电路就是由三相电源和三相负载联接起来组成的,如图2所示有四种联接方式分别为Y-Y联接,Y-联接,-Y联接和-联接<sup>[3]</sup>。本文假设三相电路是对称的。

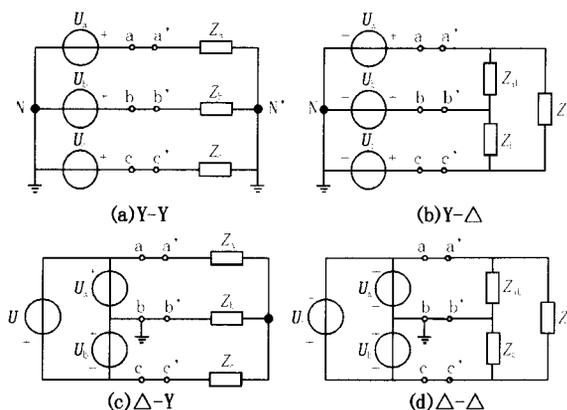


图2 PT二次绕组与负荷联接的三相等效电路

Fig 2 Three phase equivalent circuit of PT secondary winding connected with load

## 2 PT断线的特点

按照断线的位置,PT断线一般可分为PT一次侧断线和PT二次侧断线;按照断线相别,又可分为对称断线(即全部断线)和不对称断线。

对于Y形接线的电压互感器,当PT一次侧发生对称断线时,二次侧三相绕组及开口三角绕组均无电压输出<sup>[2]</sup>;PT一次侧发生不对称断线时,开口三角有压,对应断线相的二次侧无相电压,非断线相二次侧相电压不变。

对于形接线的电压互感器,当PT一次侧发生三相或两相断线时,二次侧无电压;PT一次侧发生一相断线时,二次侧相间电压输出根据断线相别的不同而有所不同。

PT二次侧断线时,Y形接线的PT开口三角无电压,断线相相电压为零。由于PT二次侧负荷的联接方式不同,当发生PT二次侧断线时,装置实际测量到的电压与PT二次绕组输出电压并不完全相同。

## 3 PT断线检测

### 3.1 PT断线现象分析

#### 3.1.1 三相断线

三相断线即对称断线,对称断线无论发生在一次侧还是二次侧,理论上Y形和形接线的PT二次输出的 $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 、 $U_{ca}$ 幅值均为零,所以PT二次负荷侧各相间电压 $|U_{ab}| = |U_{bc}| = |U_{ca}| = 0$ 。工程上一般取电压幅值小于15%~30% $U_c$ 即认为无压。

#### 3.1.2 两相断线

1) Y-Y联接方式图2(a):图3(a)是PT二次侧的电压相量图。以BC两相断线为例,当PT一次侧或二次侧发生BC两相断线时,PT二次负荷侧的三相相电压幅值分别为: $|U_a| = |U_a|$ ;  $|U_b| = 0$ ,  $|U_c| = 0$ ,所以相间电压 $|U_{ab}| = |U_a| = |U_a|$ ;  $|U_{bc}| = 0$ ;  $|U_{ca}| = |U_a| = |U_a|$ ,其向量图如图3(b)所示,线电压幅值的最大值与原相电压幅值相同;线电压幅值的最小值为0;二者比值趋近于。

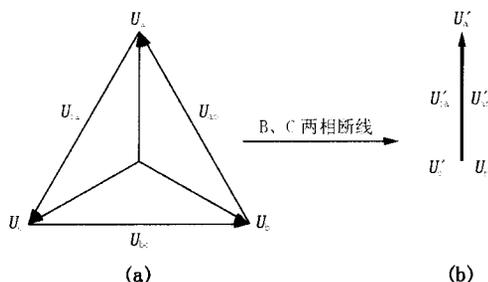


图3 Y-Y联接方式BC两相断线向量图

Fig 3 Vector diagram of BC phases breaking under Y-Y connection mode

2) Y-联接方式图2(b):以BC两相断线为例,当PT二次侧发生BC两相断线时,A、B、C等电位,PT二次负荷侧各相间电压幅值 $|U_{ab}| = |U_{bc}| = |U_{ca}| = 0$ 。因此,三个线电压的幅值特点与PT三相断线相同。

当PT一次侧发生BC两相断线时,PT二次负荷侧 $|U_a| = |U_a|$ ;  $|U_b| = 0$ ;  $|U_c| = 0$ ,所以相间电压 $|U_{ab}| = |U_a| = |U_a|$ ;  $|U_{bc}| = 0$ ;  $|U_{ca}| = |U_a| = |U_a|$ 。线电压幅值的最大值与原相电压幅值相同;线电压幅值的最小值为0;二者比值趋近于。

3) -Y联接方式图2(c)和-联接方式图2(d):形接线的PT通常把二次侧B相直接接地,所以一般不考虑B相断线的情况。当PT二次侧发生AC两相断线时,负荷侧各相间电压幅值 $|U_{ab}| = |U_{bc}| = |U_{ca}| = 0$ 。

由图 1(a)可知,当 PT一次侧发生任意两相断线时无法构成电压回路,PT二次负荷侧各相间电压幅值  $|U_{ab}| = |U_{bc}| = |U_{ca}| = 0$ 。即三个线电压的幅值特点与 PT三相断线相同。

3. 1. 3 一相断线

1) Y-Y 联接方式图 2(a):以 PT一次侧或二次侧发生 A 相断线为例,PT二次负荷侧三相相电压分别为  $|U_a| = 0$ ;  $|U_b| = |U_b|$ ;  $|U_c| = |U_c|$ ,相间电压  $|U_{ab}| = |U_b| = |U_b|$ ;  $|U_{bc}| = |U_{bc}|$ ;  $|U_{ca}| = |U_c| = |U_c|$ ,其向量图如图 4 所示,线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值与原相电压幅值相同,二者比值近似等于 1.732。

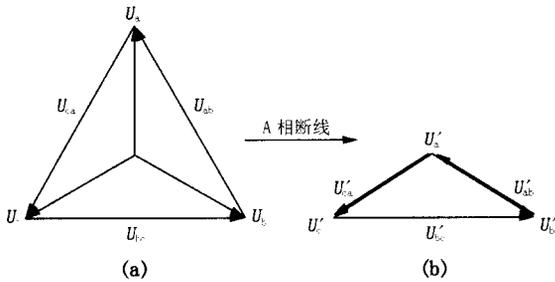


图 4 Y-Y 联接方式 A 相断线向量图

Fig 4 Vector diagram of phase A breaking under Y-Y connection mode

2) Y- 联接方式图 2(b):以 PT二次侧发生 A 相断线为例,PT二次负荷侧三相相电压分别为:

$$|U_a| = \frac{1}{2} |U_b| = \frac{1}{2} |U_c|; |U_b| = |U_b|; |U_c| = |U_c|, \text{相间电压 } |U_{ab}| = \frac{1}{2} |U_{bc}| = \frac{1}{2} |U_{bc}|; |U_{bc}| = |U_{bc}|; |U_{ca}| = \frac{1}{2} |U_{bc}| = \frac{1}{2} |U_{bc}|, \text{其向量图如图 5 所示}$$

所示,线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值为原线电压幅值的一半;二者比值近似等于 2。

PT一次侧发生 A 相断线时,PT二次负荷侧三相相电压分别为  $|U_a| = 0$ ;  $|U_b| = |U_b|$ ;  $|U_c| = |U_c|$ ,相间电压  $|U_{ab}| = |U_b|$ ;  $|U_{bc}| = |U_{bc}|$ ;  $|U_{ca}| = |U_c|$ 。线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值与原相电压幅值相同,二者比值近似等于 1.732。

3) - Y 联接方式图 2(c)和 - 联接方式图 2(d):同样不考虑 B 相断线的情况,以 PT二次侧发生 A 相断线为例,负荷侧各相间电压幅值  $|U_{ab}| = \frac{1}{2} |U_{bc}| = \frac{1}{2} |U_{bc}|$ ;  $|U_{cb}| = |U_{bc}|$ ;  $|U_{ca}| =$

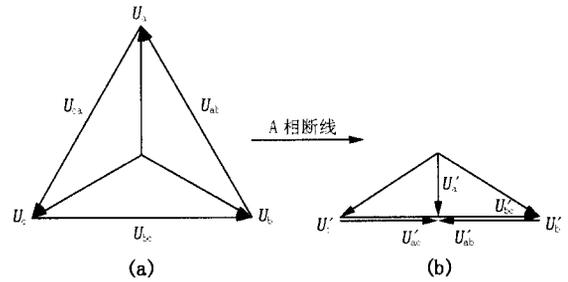


图 5 Y- 联接方式 A 相断线向量图

Fig 5 Vector diagram of phase A breaking under Y- connection mode

$\frac{1}{2} |U_{bc}| = \frac{1}{2} |U_{bc}|$ ,其向量图如图 6 所示,线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值为原线电压幅值的一半,二者比值近似等于 2。

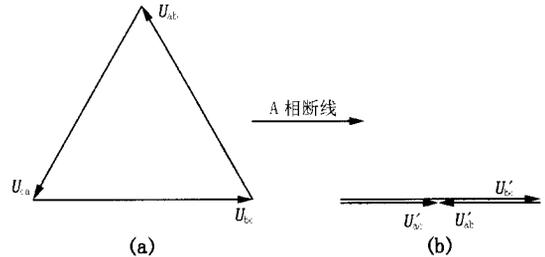


图 6 形接线 PT二次侧 A 相断线向量图

Fig 6 Vector diagram of phase A breaking in PT secondary side under connection mode

PT一次侧发生 A 相断线时,负荷侧各相间电压幅值  $|U_{ab}| = 0$ ;  $|U_{cb}| = |U_{bc}|$ ;  $|U_{ca}| = |U_{bc}|$ ,其向量图如图 7(a)所示,线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值为 0;二者比值趋近于 。

PT一次侧发生 B 相断线时,负荷侧各相间电压幅值  $|U_{ab}| = \frac{1}{2} |U_{ca}|$ ;  $|U_{cb}| = \frac{1}{2} |U_{ca}|$ ;  $|U_{ca}| = |U_{ca}|$ ,其向量图如图 7(b)所示,线电压幅值的最大值与原线电压幅值相同;线电压幅值的最小值为原线电压幅值的一半,二者比值近似等于 2。

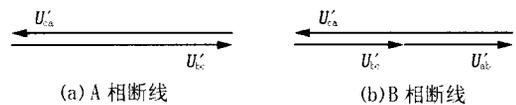


图 7 形接线 PT一次侧单相断线向量图

Fig 7 Vector diagram of single-phase breaking in PT primary side under connection mode

3. 2 PT断线判据的实现

综上所述,获得 PT断线判据逻辑关系如图 8 所

示。

判据一:三个线电压幅值的最大值( $U_{Lmax}$ )大于等于三个线电压幅值的最小值( $U_{Lmin}$ ) $n$ 倍,即 $U_{Lmax} \geq nU_{Lmin}$ 。 $n$ 值根据被检测电压互感器二次侧负荷的对称情况确定,一般情况下 $1 < n < 1.732$ 。

判据二:三个线电压幅值的最小值低于无压门槛值( $U_{wy}$ ),同时负荷电流大于无流门槛值( $I_{wl}$ )。

判据三(可选):对于Y形接线的PT,开口三角电压( $3U_0$ )大于无压门槛值( $U_{wy}$ )时为PT一次侧断线,否则为二次侧断线。

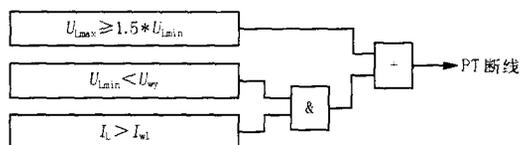


图8 PT断线判据逻辑关系图

Fig 8 Logic diagram of PT breaking criterion

在微机保护、测控和自动装置上均能够实现本判据。步骤如下:

1)相间电压量的获取:对于Y形接线的PT, $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 直接从PT二次侧采集, $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 、 $U_{ca}$ 通过矢量计算获得:

$$U_{ab} = U_a - U_b; U_{bc} = U_b - U_c; U_{ca} = U_c - U_a;$$

对于形接线的PT, $U_{ab}$ 、 $U_{cb}$ 直接从PT二次侧采集, $U_{ca}$ 按照矢量计算获得: $U_{ca} = U_{cb} - U_{ab}$ 。

2)分别选取 $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 、 $U_{ca}$ 中的最大幅值( $U_{Lmax}$ )和最小幅值( $U_{Lmin}$ )进行比较。如果 $U_{Lmax} \geq 1.5 \times U_{Lmin}$ 时,判定电压互感器断线。

3)无压门槛值( $U_{wy}$ )一般设定为15%~30%倍的额定电压 $U_e$ ;无流门槛值( $I_{wl}$ )一般设定为0.04倍的额定电流 $I_n$ 。如果 $U_{Lmin} < U_{wy}$ 并且负荷电流大于 $I_{wl}$ 时,判定电压互感器断线。

4)发出告警信息和闭锁信号。

### 3.3 几种特殊情况的分析

1)发生小电流接地故障时,三个线电压仍然对称,与PT断线时线电压的情况完全不同。判据一能够有效地区分这种情况。

2)发生短路故障时,线路电压会发生相应的变化,有可能会影响到PT断线的检测。由于故障发生时保护将立即动作跳闸,PT断线检测延时远大于保护跳闸时间,所以不必在判据上区分它们。

3)母线失压伴随着负荷电流的消失<sup>[4]</sup>。发生PT断线无法测量到三相电压时并不影响负荷电流的测量,因此可以通过判据二检测PT电压和线路

负荷电流的有无来区分母线失压。

4)对于Y形接线的PT,一次侧断线时开口三角有电压,二次侧断线时开口三角无电压。根据这个特点可以由判据三区分Y形接线PT一次侧和二次侧的不对称断线。对于形接线PT断线侧的判断还有待进一步研究。

5)文献[1]提到的特例在最不利的情况下有

$$|U_a| = |U_b| = \frac{1}{2} |U_c|, \text{此时三个线电压的模值之差}$$

大于20V的判据条件可能会不成立,导致拒发PT断线告警信号。然而在这种情况下,三个线电压模值的最大值为相电压的一半,最小值为零,二者的比值趋近于,即 $U_{Lmax} \gg nU_{Lmin}$ ,本文提出的判据方法具有灵敏的判断能力。

## 4 结语

针对目前国内厂家采用的PT断线判据所存在的不足,本文提出了基于相间电压幅值比较原理的PT断线判据。该判据同时适用于电力网小电流接地系统Y形和形接线的PT一次侧和二次侧断线检测;可以有效区分小电流接地故障、母线失压等;该判据是采用三个线电压幅值的最大值和最小值的比值运算,对各种PT接线方式下的断线判断都具有足够的灵敏度;不需要进行负序电流计算和由线电压向相电压的换算,便于在一般的微机保护、测控、自动装置上实现。该判据应用在某电气有限公司的XBJ-101线路保护监控装置中,已有多年的现场成功运行经验。

## 参考文献:

- [1] 吴红斌,丁明,宋金川,等.线路保护中PT断线判据的分析和改进[J].继电器,2004,32(3):63-65.  
WU Hong-bin, DING Ming, SONG Jin-chuan, et al Analysis and Improvement of PT Breaking Criterion in Line Protection[J]. Relay, 2004, 32(3): 63-65.
- [2] 张悱宁,索南加乐,徐丙垠,等.铁路自闭(贯通)线路保护监控一体化装置[J].电力系统自动化,2003,27(13):78-81.  
ZHANG Yi-ning, SUONAN Jia-le, XU Bing-yin, et al Integrated Protection and Control Device for Auto-block/Run-through Lines in Railway Substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(13): 78-81.
- [3] 邱关源.电路[M].北京:高等教育出版社,1989.  
QIU Guan-yuan. Electrocircuit[M]. Beijing: Higher Education Press, 1989.
- [4] 杜景远,崔艳.浅议PT断线、系统接地、母线失压的判

据 [J]. 继电器, 2002, 30 (4): 60-61.

DU Jing-yuan, CUI Yan. Criteria of PT Breaking, System Grounding and Bus Bar Voltage Losing [J]. Relay, 2002, 30 (4): 60-61.

张怿宁 (1973 - ), 男, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: zhangyining2003@21cn.com

索南加乐 (1960 - ), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护的科学与科研工作;

徐丙垠 (1961 - ), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力线路故障监测技术及配电网自动化技术。

收稿日期: 2004-09-20; 修回日期: 2004-11-03

作者简介:

### Detection of PT breaking based on the theory of line voltage amplitude comparison

ZHANG Yi-ning<sup>1</sup>, SUONAN Jia-le<sup>1</sup>, XU Bing-yin<sup>2</sup>, CHEN Ping<sup>2</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2 Shandong Kehui Electric Co., Ltd, Zibo 255087, China)

**Abstract:** Based on the theory of line voltage comparison, a kind of detection method of PT breaking is introduced with which PT breaking faults are detected through ratio calculation between the minimal values and the maximal value of three-line voltage. It could be used for both Y connection mode of PT and connection mode in unsolidly earthed network. PT breaking in both primary side and secondary side can be detected. Earth fault and bus bar voltage losing can be distinguished effectively. And it could be carried out easily in common microcomputer protection, measure-control and automation device. The criterion is proved to be correct, reliable and practical.

**Key words:** PT; PT breaking; criterion

## SIMPLE-A430产品新增特点

1. 采用许多世界著名产品的结构方式, 全部模块化结构, 即使是大电流输出也不需要一根线, 使得可靠性有了根本的保证。
2. 使用最代表发展方向的网络通讯, 把所有的优势全部显现出来: 以前同行产品一般是USB、COM、LPT等通讯方式, 距离短, 速度慢, 共享资源缺乏等。
3. 紧跟世界科技发展方向, 采用开关电源和线性功放的组合方式, 吸取开关电源转换效率高重量轻可靠性高的优点, 采纳线性功放精度高输出波形好的优势, 扬长避短, 使得整机重量低于12.8kg, 是世界上最轻的一款

体化设备, 但输出功率和长时间通大电流等技术指标比纯线性电源和线性功放的同类产品或开关电源和开关功放的同类产品有着明显的优势。

4. 顺应世界潮流, 采用内嵌计算机一体化装置的设计方案, 结束了国内外同类产品必须有外接计算机才能使用的时代。

5. 既能输出标准的50.0000Hz波形, 又能实时跟踪电网频率同步输出, 可直接并入电网系统进行在线试验, 更加接近真实。

精度: <0.01%的量程+0.1%的读数

分辨率: <1mA

功率: 60V最大负载大于0.5A

125V最大负载大于0.25A

所有电流源

量程: 0-30AAC/相

精度: <0.01%的量程+0.1%的读数

分辨率: <1mA

功率: 0.5A最大负载大于3.0Ω

30A最大负载大于0.25Ω

八对开入 四对开出

体积:长390mm\*宽200mm\*高

380mm

重量:最低配置(3U1I)不超过

12.8kg

最高配置(6U6I)不超过

15.8kg



主要参数

所有电压源

量程: 0-125VAC/相

广州市番禺区迎宾路万博中心A3栋1058

邮编: 511442

TEL: 020-34820911 34820919

FAX: 020-34820238

http://www.onllysimple.com

E-mail: onllysimple@163.com