

# 基于序电压比值原理的电压互感器断线检测

马俊岭<sup>1</sup> 厉志波<sup>2</sup>

(1. 华润新能源投资有限公司河南分公司, 郑州 450018;  
2. 润电能源科学技术有限公司, 郑州 450018)

**摘要** 通过分析电压互感器 (PT) 二次回路断线后的故障特征, 提出一种基于序电压比值原理的 PT 断线检测方法。该方法主要依据采集的 PT 二次电压, 通过计算正序电压与负序电压的比值来判断 PT 是否断线。仿真结果表明, 该判据能够实现对 PT 二次回路不对称断线故障的准确判断, 尤其是在 PT 二次回路同时并联三角形负载与星形负载的工况下具有明显优势。

**关键词:** 电压互感器 (PT) 断线; 序电压; 判据

## Detection of potential transformer secondary break based on the principle of sequence voltage ratio

MA Junling<sup>1</sup> LI Zhibo<sup>2</sup>

(1. China Resources New Energy Investment Co., Ltd He'nan Branch, Zhengzhou 450018;  
2. Run-dian Energy Science and Technology Co., Ltd, Zhengzhou 450018)

**Abstract** Based on the fault characteristics following the disconnection of the secondary circuit of a potential transformer (PT), a detection method for PT secondary break utilizing the principle of sequence voltage ratio is proposed. This method primarily calculates the ratio of the positive sequence voltage to the negative sequence voltage from the PT's secondary voltage data to determine the occurrence of a PT break. Simulation results demonstrate that this criterion can accurately assess whether an asymmetric disconnection has occurred in the PT secondary circuit, particularly advantageous when the PT secondary circuit is concurrently connected to both delta and star loads.

**Keywords:** potential transformer (PT) break; sequence voltage; criterion

## 0 引言

电压互感器 (potential transformer, PT) 二次回路断线是生产现场一种常见的故障<sup>[1-3]</sup>, 对电力系统的安全稳定运行有一定影响。PT 二次回路断线可以分为三相断线和不对称断线两种情况, 其中不对称断线分为单相断线和两相断线。为防止 PT 断线造成保护误动, 继电保护规程明确规定, 保护装置应能判别电压互感器二次侧断线的情况, 并自动闭锁、发出信号。

目前, 各保护厂家关于 PT 二次回路三相断线的判据基本一致, 本文不再赘述。而对于 PT 不对称断线的判据, 存在多种不同方法, 主要包括以下 3 种<sup>[4-7]</sup>: 判据 1, 负序电压  $U_2$  大于 13V 或 8V; 判据 2, 三相相电压的相量和大于 18V, 并且至少有

一线电压的模值之差大于 20V; 判据 3, 存在一线电压的模值之差大于 18V。然而, 虽然上述 PT 不对称断线判据在多数运行工况下能够做出正确判断, 但是并非适用所有工况。实际运行中, 发生过在 PT 二次回路断线的情况下, 各自投装置、线路保护装置 PT 断线判据误判的情况<sup>[8-11]</sup>。

针对现有 PT 不对称断线判据的局限性, 本文提出一种基于序电压比值原理的新型 PT 断线检测方法。该方法通过对比分析正序电压与负序电压的比值关系, 构建一种新型断线判据。为验证所提新型 PT 不对称断线判据的有效性, 本文通过 PSCAD/EMTDC 仿真软件进行仿真研究。通过模拟不同工况下的 PT 断线情况, 对比分析新型判据与传统判据的判断结果, 从而证明新型判据在多种工况下的有效性。

## 1 PT 二次绕组接线方式

在火力发电厂中, PT 二次回路并联大量的继电保护装置、安全自动装置、计量装置等。PT 二次回路中负载的联结方式有星形联结和三角形联结两种。根据二次回路负载联结方式, 将星形联结的设备称为星形负载, 三角形联结的设备称为三角形负载。

在生产现场, PT 二次回路负载存在 3 种工况: 工况 1, PT 二次回路不同类型装置混接; 工况 2, PT 二次回路只接星形负载; 工况 3, PT 二次回路只接三角形负载 (较为少见)。典型的 PT 二次回路接线如图 1 所示。

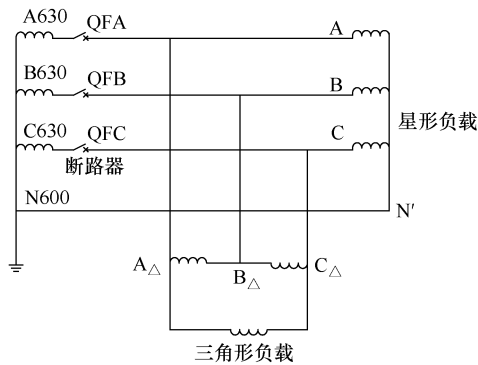


图 1 典型 PT 二次回路接线

为便于分析, 做如下假设:

- 1) 负载装置内部电压变换器的三相阻抗平衡。
- 2) 三角形负载装置等效模型的阻抗  $Z_{\Delta}=0\sim\infty$ 。
- 3) 星形负载装置等效模型的阻抗  $Z_Y=0\sim\infty$ 。
- 4) PT 二次绕组三相电压幅值相等、频率相同, 相位依次相差  $120^\circ$ ; 二次额定电压幅值  $U_N=57.7V$ 。

## 2 工况 1 条件下 PT 断线后序电压特征

### 2.1 单相断线后星形负载装置采集到的序电压特征

设 PT 二次回路发生 B 相断线, 相电压装置采集到的非断线相电压的关系为

$$\dot{U}_{AN'} = a^2 \dot{U}_{CN'} \quad (1)$$

式中:  $\dot{U}_{AN'}$ 、 $\dot{U}_{CN'}$  为图 1 中 A、C 对 N' 的电压;  $a$  为旋转因子。

根据图 1 有

$$\begin{cases} V_{A\Delta} = V_A \\ V_{B\Delta} = V_B \\ V_{C\Delta} = V_C \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$  分别为图 1 中 A、B、C 点电位;  $V_{A\Delta}$ 、 $V_{B\Delta}$ 、 $V_{C\Delta}$  分别为图 1 中  $A_{\Delta}$ 、 $B_{\Delta}$ 、 $C_{\Delta}$  电位。

根据节点电压法, 计算保护装置采集到的断线相电压, 有

$$\frac{V_{A\Delta} - V_{B\Delta}}{Z_{\Delta}} + \frac{V_{C\Delta} - V_{B\Delta}}{Z_{\Delta}} - \frac{V_{B\Delta} - V_{N'}}{Z_Y} = 0 \quad (3)$$

式中,  $V_{N'}$  为图 1 中 N' 电位。

经计算化简可得

$$\dot{U}_{BN'} = \frac{\dot{U}_{AN'} + \dot{U}_{CN'}}{\frac{2}{Z_{\Delta}} + \frac{1}{Z_Y}} \cdot \frac{1}{Z_{\Delta}} \quad (4)$$

式中,  $\dot{U}_{BN'}$  为图 1 中 B 对 N' 的电压。

正序电压  $\dot{U}_1$  为

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} (\dot{U}_{AN'} + a^2 \dot{U}_{CN'} + a \dot{U}_{BN'}) = \frac{1}{3} \dot{U}_{AN'} \left( 2 - \frac{1}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}} \right) \quad (5)$$

负序电压  $\dot{U}_2$  为

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3} (\dot{U}_{AN'} + a \dot{U}_{CN'} + a^2 \dot{U}_{BN'}) = \frac{1}{3} \dot{U}_{AN'} \left( 1 + \frac{1}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}} \right) \quad (6)$$

则序电压比值为

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = \frac{2 - \frac{Z_Y}{2Z_Y + Z_{\Delta}}}{1 + \frac{Z_Y}{2Z_Y + Z_{\Delta}}} \quad (7)$$

经化简得

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 1 + \frac{1}{3 \frac{Z_Y}{Z_{\Delta}} + 1} \quad (8)$$

令  $Z_Y = nZ_{\Delta}$ , 有

$$\alpha = 1 + \frac{1}{3n + 1} \quad (9)$$

则

$$\begin{cases} \lim_{n \rightarrow +\infty} \left( 1 + \frac{1}{3n + 1} \right) = 1 \\ \lim_{n \rightarrow 0} \left( 1 + \frac{1}{3n + 1} \right) = 2 \end{cases} \quad (10)$$

即  $\alpha$  的取值范围为 [1, 2]。

## 2.2 单相断线后三角形负载装置采集到的序电压特征

假设 PT 二次回路 B 相断线，非断线相相电压关系为

$$\dot{U}_{AN'} = a^2 \dot{U}_{CN'} \quad (11)$$

对于线电压装置采集到的电压，结合式 (4) 可得

$$\begin{cases} \dot{U}_{A\Delta B\Delta} = \dot{U}_{AN'} - \frac{\dot{U}_{AN'} + \dot{U}_{CN'}}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}} \\ \dot{U}_{A\Delta C\Delta} = \dot{U}_{AN'} - \dot{U}_{CN'} \\ \dot{U}_{B\Delta C\Delta} = -\dot{U}_{CN'} - \frac{\dot{U}_{AN'} + \dot{U}_{CN'}}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}} \end{cases} \quad (12)$$

式中， $\dot{U}_{A\Delta B\Delta}$ 、 $\dot{U}_{A\Delta C\Delta}$ 、 $\dot{U}_{B\Delta C\Delta}$  分别为图 1 中  $A_{\Delta}B_{\Delta}$ 、 $A_{\Delta}C_{\Delta}$ 、 $B_{\Delta}C_{\Delta}$  的线电压。

令

$$\gamma = \frac{1}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}} \quad (13)$$

根据三角函数知识可得

$$\begin{cases} \dot{U}_{A\Delta B\Delta}^2 = \dot{U}_{AN'}^2 + (\dot{U}_{AN'}\gamma + \dot{U}_{CN'}\gamma)^2 - 2\dot{U}_{AN'}(\dot{U}_{AN'}\gamma + \dot{U}_{CN'}\gamma)\cos\frac{\pi}{3} \\ = \dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma \\ \dot{U}_{B\Delta C\Delta}^2 = \dot{U}_{CN'}^2 + (\dot{U}_{AN'}\gamma + \dot{U}_{CN'}\gamma)^2 - 2\dot{U}_{CN'}(\dot{U}_{AN'}\gamma + \dot{U}_{CN'}\gamma)\cos\frac{\pi}{3} \\ = \dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma \\ \dot{U}_{A\Delta C\Delta}^2 = 3\dot{U}_N^2 \end{cases} \quad (14)$$

计算正序电压<sup>[12-15]</sup>为

$$\begin{aligned} 3\dot{U}_1^2 &= \frac{2(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma) + 3\dot{U}_N^2 + \sqrt{3[2(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma) + 3\dot{U}_N^2]^2 - 3(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma)^2 - 54\dot{U}_N^4}}{2} \\ &= \frac{5\dot{U}_N^2 + 2\dot{U}_N^2\gamma^2 - 2\dot{U}_N^2\gamma + 3\dot{U}_N^2|1-2\gamma|}{2} \end{aligned} \quad (15)$$

令  $Z_{\Delta} = mZ_Y$ ，有

$$\gamma = \frac{1}{2+m} \quad (16)$$

则

$$\begin{cases} \lim_{m \rightarrow +\infty} (1-2\gamma) = \lim_{m \rightarrow +\infty} \left(1 - \frac{2}{2+m}\right) = 1 \\ \lim_{m \rightarrow 0} (1-2\gamma) = \lim_{m \rightarrow 0} \left(1 - \frac{2}{2+m}\right) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} 3\dot{U}_2^2 &= \frac{2(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma) + 3\dot{U}_N^2 - \sqrt{3[2(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma) + 3\dot{U}_N^2]^2 - 3(\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - \dot{U}_N^2\gamma)^2 - 54\dot{U}_N^4}}{2} \\ &= \dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 + 2\dot{U}_N^2\gamma = \dot{U}_N^2(1+\gamma)^2 \end{aligned} \quad (19)$$

序电压比值为

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = \frac{2-\gamma}{1+\gamma} = \frac{2 - \frac{1}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}}}{1 + \frac{1}{2 + \frac{Z_{\Delta}}{Z_Y}}} = 1 + \frac{1}{\frac{3}{m} + 1} \quad (20)$$

则

因此有  $|1-2\gamma| = 1-2\gamma$ 。最后化简得

$$3\dot{U}_1^2 = 4\dot{U}_N^2 + \dot{U}_N^2\gamma^2 - 4\dot{U}_N^2\gamma = \dot{U}_N^2(2-\gamma)^2 \quad (18)$$

负序电压为

$$\begin{cases} \lim_{m \rightarrow +\infty} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{3}{m}}\right) = 2 \\ \lim_{m \rightarrow 0} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{3}{m}}\right) = 1 \end{cases} \quad (21)$$

即  $\alpha$  的取值范围为 [1, 2]。

### 2.3 两相断线后星形负载装置采集到的序电压特征

假设 PT 二次回路发生 A、B 两相断线，非断线相 C 相电压为  $\dot{U}_{CN'}$ 。保护装置采集到的 A 相电压通过图 2 所示实线即  $N600 \rightarrow N' \rightarrow A \rightarrow A_{\Delta} \rightarrow C_{\Delta} \rightarrow QFC \rightarrow C630$  路径形成新的回路。

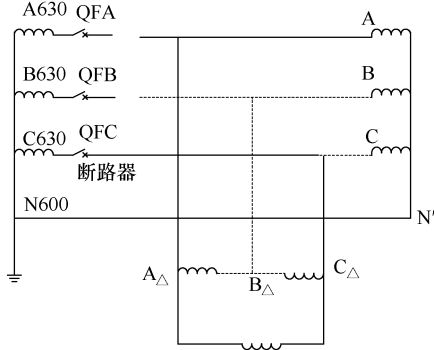


图 2  $N600 \rightarrow N' \rightarrow A \rightarrow A_{\Delta} \rightarrow C_{\Delta} \rightarrow QFC \rightarrow C630$  路径

保护装置采集到的 B 相电压通过图 3 所示实线  $N600 \rightarrow N' \rightarrow B \rightarrow B_{\Delta} \rightarrow C_{\Delta} \rightarrow QFC \rightarrow C630$  路径形成回路。

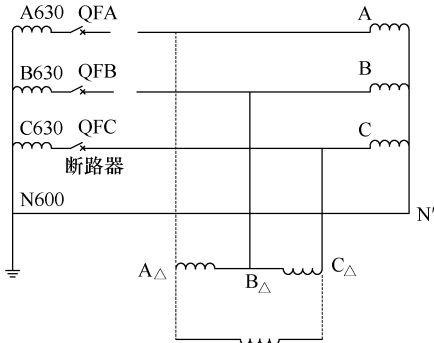


图 3  $N600 \rightarrow N' \rightarrow B \rightarrow B_{\Delta} \rightarrow C_{\Delta} \rightarrow QFC \rightarrow C630$  路径

根据电路知识计算得

$$\begin{cases} \dot{U}_{AN'} = \frac{Z_Y}{Z_{\Delta} + Z_Y} \dot{U}_{CN'} \\ \dot{U}_{BN'} = \frac{Z_Y}{Z_{\Delta} + Z_Y} \dot{U}_{CN'} \end{cases} \quad (22)$$

$$3\dot{U}_2^2 = \frac{\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^2 + \dot{U}_{B\Delta C\Delta}^2 + \dot{U}_{A\Delta C\Delta}^2 - \sqrt{3(\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^2 + \dot{U}_{B\Delta C\Delta}^2 + \dot{U}_{A\Delta C\Delta}^2)^2 - 6\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^4 - 6\dot{U}_{B\Delta C\Delta}^4 - 6\dot{U}_{A\Delta C\Delta}^4}}{2} \quad (29)$$

正序电压为

$$3\dot{U}_1^2 = \frac{\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^2 + \dot{U}_{B\Delta C\Delta}^2 + \dot{U}_{A\Delta C\Delta}^2 + \sqrt{3(\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^2 + \dot{U}_{B\Delta C\Delta}^2 + \dot{U}_{A\Delta C\Delta}^2)^2 - 6\dot{U}_{A\Delta B\Delta}^4 - 6\dot{U}_{B\Delta C\Delta}^4 - 6\dot{U}_{A\Delta C\Delta}^4}}{2} \quad (30)$$

经计算可得

正序电压为

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \frac{1}{3} (\dot{U}_{AN'} + a^2 \dot{U}_{CN'} + a \dot{U}_{BN'}) \\ &= \frac{1}{3} \dot{U}_{CN'} \left( 1 - \frac{Z_Y}{Z_{\Delta} + Z_Y} \right) = \frac{1}{3} \dot{U}_{CN'} \frac{Z_{\Delta}}{Z_{\Delta} + Z_Y} \end{aligned} \quad (23)$$

令

$$\beta = \frac{Z_{\Delta}}{Z_{\Delta} + Z_Y} \quad (24)$$

则

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} \beta \dot{U}_{CN'} \quad (25)$$

负序电压为

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \frac{1}{3} (\dot{U}_{AN'} + a \dot{U}_{CN'} + a^2 \dot{U}_{BN'}) \\ &= \frac{1}{3} \dot{U}_{CN'} \left( 1 - \frac{Z_Y}{Z_{\Delta} + Z_Y} \right) = \frac{1}{3} \beta \dot{U}_{CN'} \end{aligned} \quad (26)$$

序电压比值为

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 1 \quad (27)$$

### 2.4 两相断线后三角形负载装置采集到的序电压特征

假设 PT 二次侧 A、B 相断线，线电压装置采集到的线电压为

$$\begin{cases} \dot{U}_{B\Delta C\Delta} = \frac{-Z_{\Delta}}{Z_{\Delta} + Z_Y} \dot{U}_{CN'} \\ \dot{U}_{A\Delta C\Delta} = \frac{-Z_{\Delta}}{Z_{\Delta} + Z_Y} \dot{U}_{CN'} \\ \dot{U}_{A\Delta B\Delta} = 0V \end{cases} \quad (28)$$

负序电压为

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 1 \quad (31)$$

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 1 \quad (40)$$

### 3 其他工况条件下 PT 断线后序电压特征

#### 3.1 工况 2 条件下 PT 断线后序电压特征

##### 1) 单相断线后序电压特征

假设 PT 二次回路 B 相断线, 则装置采集到的 B 相电压为 0V, 非断线相电压为

$$\dot{U}_{AN'} = a^2 \dot{U}_{CN'} \quad (32)$$

则负序电压为

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{AN'} + a\dot{U}_{CN'}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{AN'}e^{-\frac{\pi}{3}j} \quad (33)$$

正序电压为

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{AN'} + a^2\dot{U}_{CN'} + a\dot{U}_{BN'}) = \frac{2}{3}\dot{U}_{AN'} \quad (34)$$

则有

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 2 \quad (35)$$

##### 2) 两相断线后序电压特征

假设 PT 二次回路 A、B 两相断线, 装置采集到的 A、B 相电压为 0V, 非断线相电压为  $U_{CN'}$ , 则负序电压为

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{AN'} + a^2\dot{U}_{CN'} + a\dot{U}_{BN'}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{CN'} \quad (36)$$

正序电压为

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{AN'} + a^2\dot{U}_{CN'} + a\dot{U}_{BN'}) = \frac{1}{3}\dot{U}_{CN'} \quad (37)$$

则

$$\alpha = \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} = 1 \quad (38)$$

#### 3.2 工况 3 条件下 PT 断线后序电压特征

##### 1) 单相断线后序电压特征

假设 PT 二次回路发生单相断线如 B 相断线, 根据电路知识可得

$$\begin{cases} \dot{U}_{A\Delta B\Delta} = \frac{\dot{U}_{AN'}}{2} \\ \dot{U}_{B\Delta C\Delta} = \frac{\dot{U}_{AN'}}{2} \\ \dot{U}_{A\Delta C\Delta} = \dot{U}_{AC} \end{cases} \quad (39)$$

经计算并化简得

##### 2) 两相断线后序电压特征

假设 PT 二次回路两相断线, 则装置采集到的线电压均为 0V, 其特征与三相断线相同。

## 4 一种新的 PT 断线闭锁判据及其仿真

### 4.1 新 PT 断线判据

综上所述, 各种工况下发生 PT 断线后, 其正序电压与负序电压比值有明显的特征, 即  $1 \leq \alpha \leq 2$ , 基于这一特征, 本文提出新的 PT 断线判据如下。

判据 1: 保护装置通过采集到的电压数据, 分别计算正序电压幅值和负序电压幅值, 并计算其比值  $\alpha$ 。当  $1 \leq \alpha \leq 2$  时, 判定为 PT 不对称断线。

判据 2: 对于 PT 二次回路三相断线的情况 (常规设计), 当电压小于  $(0.25 \sim 0.3)U_N$  且电流值大于  $0.04I_e$  ( $I_e$  为对应回路的额定值) 时, 判定为 PT 三相对称断线。

判据 1 与判据 2 结合使用, 可准确判断 PT 二次侧发生的各种断线故障。但是, 在 PT 二次回路仅接三角形负载的情况下, 由于 PT 两相断线后, 装置采集到的线电压均为 0V, 因此无法仅通过单一的电压量进行判断。在这种情况下, 可根据判据 2 判为三相断线, 并闭锁相关保护, 不会造成保护误动。

### 4.2 仿真研究

为了验证所提新判据判断 PT 二次回路不对称 (单相、两相) 断线的有效性, 基于 PSCAD/EMTDC 建立图 4 所示电气模型。在 PT 二次回路混接不同类型负载 (单一星形负载、单一三角形负载) 的情况下, 分别模拟单相断线、两相断线的情况。PT 二次回路不对称断线判据分别按照新判据  $1 \leq \alpha \leq 2$  和某公司的 PT 断线判据 (简称现有判据)  $U_2 > 13V$  进行设置, 判定 PT 发生不对称断线时输出 1, 判断未发生断线时输出 0。仿真结果见表 1~表 4。

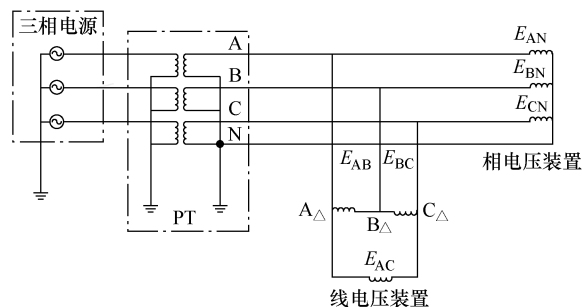


图 4 电气模型

表1 PT二次回路混接情况下两相断线仿真结果

$Z_{\Delta}/Z_Y$	星形负载		三角形负载	
	新判据	现有判据	新判据	现有判据
$10^3$	1	1	1	1
10	1	1	1	1
1	1	0	1	1
$10^{-1}$	1	0	1	0
$10^{-3}$	1	0	1	0

表2 PT二次回路混接情况下单相断线仿真结果

$Z_{\Delta}/Z_Y$	星形负载		三角形负载	
	新判据	现有判据	新判据	现有判据
$10^3$	1	1	1	1
10	1	1	1	1
1	1	1	1	1
$10^{-1}$	1	1	1	1
$10^{-3}$	1	1	1	1

表3 PT二次回路在单一星形负载情况下断线仿真结果

类型	新判据	现有判据
单相断线	1	1
两相断线	1	1

表4 PT二次回路在单一三角形负载情况下断线仿真结果

类型	新判据	现有判据
单相断线	1	1
两相断线	0	0

由仿真结果可以发现,新判据在PT二次回路混接不同类型负载的情况下,均能正确判断出PT发生不对称断线,具有明显优势,但也存在一定的不足,如表4仿真结果表明,在PT二次回路仅接单一三角形负载的情况下,新判据与现有判据均无法判断出PT两相不对称断线,这种情况满足三相断线的判据,因此并不会造成保护误动。总体而言,新判据优势大于不足,具有一定的应用价值。

## 5 结论

本文通过理论分析提出了基于序电压比值原理的PT断线新判据。PSCAD/EMTDC仿真结果表明,该判据动作可靠、判断准确,尤其在PT二次回路并接不同类型负载的情况下,较现有判据具有明显优势。结合三相断线判据,新判据可以实现对所有类型PT二次侧断线情况的正确判断,能够避免保护误动,具有一定的实用价值。

## 参考文献

- [1] 彭家琦, 冶海平, 戴强, 等. 一起高海拔 35kV 电容式电压互感器故障浅析[J]. 电气技术, 2019, 20(2): 111-114.
- [2] 刘东超, 李铁仲, 张哲, 等. PT 中性线断线的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 73-76.
- [3] 陈莉, 张瑞明, 宋莉莉. 一起 35kV 电容式电压互感器二次电压异常分析[J]. 电气技术, 2021, 22(2): 59-62.
- [4] 王祺元, 靳巩固, 康婧婧, 等. 高压直流输电工程换流变进线电压互感器断线故障分析[J]. 电气技术, 2023, 24(5): 71-75.
- [5] 张建华. 发电机出口电压互感器匝间短路分析及在线监测装置设计[J]. 电气技术, 2020, 21(2): 110-113, 128.
- [6] 沈泽亮, 汪金刚, 王谦, 等. 一种基于低频窄带扫描的电磁式电压互感器杂散电容测量与精确建模方法[J]. 电工技术学报, 2023, 38(8): 2211-2221.
- [7] 张明凯. 220kV 母线 PT 断线告警的案例分析[J]. 电子技术, 2024, 53(9): 110-111.
- [8] 陈琦, 陈福锋, 唐治国, 等. 多间隔信息融合的母线保护电流互感器断线再开放策略[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(5): 151-157.
- [9] 林撒迦. 一起 110kV 电压互感器二次回路 N 线断线故障分析[J]. 电气技术与经济, 2024(3): 278-280.
- [10] 邓得政, 赵若阳. 电压互感器二次断线对三相三线计量的影响分析[J]. 电气技术, 2020, 21(5): 98-102.
- [11] 张帅, 肖兰, 梁博, 等. 500kV 变电站不同电压等级线路 PT 断线的原理分析及研究[J]. 电气技术与经济, 2023(1): 32-35, 44.
- [12] 张旭俊. 关于三相电压不平衡时负序电压的计算[J]. 华中电力, 1994(6): 12-16.
- [13] 肖楚鹏, 贾秀芳, 邱泽晶, 等. 基于细分迭代法的负序电压责任分摊计算[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2017, 44(2): 75-82.
- [14] 马建伟, 付同福, 郁金松, 等. 预防合闸事故的 PT 断线逻辑的分析及改进[J]. 电工技术, 2023(10): 193-196.
- [15] 黄少锋, 李欧, 费彬, 等. 开口三角绕组任意连接的电压互感器断线闭锁新方法[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(7): 59-64.

收稿日期: 2024-10-08

修回日期: 2024-12-19

### 作者简介

马俊岭(1987—), 男, 河南鹤壁人, 本科, 工程师, 主要从事继电保护管理工作。