

# Distribution System Zero Line Break Protection Principle and Application

Zhixiang He<sup>1</sup>, Chunfang Liu<sup>2</sup>, Zengsheng Chen<sup>2</sup>, Hui Zhang<sup>1</sup>, Tangjie Liang<sup>2</sup>, Shuzhao Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Foshan Chancheng District Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Foshan Guangdong

<sup>2</sup>Foshan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Foshan Guangdong

Email: 732381408@qq.com

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2015; accepted: Nov. 21<sup>st</sup>, 2015; published: Nov. 26<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

When zero line disconnection occurs in three-phase distribution system, a displacement voltage will appear at the neutral point of client, which may cause the equipment and personal safety accident. The relation between neutral point voltage and load unbalance is studied when zero line disconnection occurs in three-phase distribution system. The theoretical analysis shows that: zero sequence voltage appears at the neutral point and there is no zero sequence current when the zero line disconnection occurs. Based on this characteristic, a new method to detect zero line disconnection is proposed based on zero sequence voltage with zero line current blocking, and the layout scheme is studied.

## Keywords

Three-Phase Distribution System, Zero Line Disconnection, Load Unbalance, Displacement Voltage

---

# 配电系统零线断线保护原理及现场应用

何智祥<sup>1</sup>, 柳春芳<sup>2</sup>, 陈增胜<sup>2</sup>, 张 慧<sup>1</sup>, 梁唐杰<sup>2</sup>, 吴树钊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广东电网有限责任公司佛山禅城供电局, 广东 佛山

<sup>2</sup>佛山电力设计院有限公司, 广东 佛山

Email: 732381408@qq.com

收稿日期: 2015年11月6日; 录用日期: 2015年11月21日; 发布日期: 2015年11月26日

## 摘要

当三相低压供电系统零线断线时，用户侧将出现中性点位移电压，可能引起设备及人身安全等事故。论文分析了三相配电系统零线断线时中性点位移电压和负载不平衡度的特征关系。基于零线断线时中性点出现位移电压但没有零线电流的特征，提出了带零线电流闭锁判据的识别零线断线的保护原理，并研究了零线断线保护的布点方案。

## 关键词

三相配电系统，零线断线，负载不平衡，位移电压

## 1. 引言

配电系统广泛采用三相四线制[1] (TN-C 系统)或三相五线制(TN-S)供电系统。当低压线路的“零线”被偷盗、或配置不合理或接触不良使得“零线”断线或烧毁后，用户侧的中性点电压将发生偏移[2]-[4]，从而引起设备及人身安全等事故。因此，准确检测低压系统零线断线，并采取相应措施，避免事故发生是十分必要的。

配电系统零线断线的检测方法主要有相-零电压和零-地电压的方法[5]-[8]。相-零电压方法利用零线断线时负载相大的相电压升高，负载相小的相电压降低的特征；零-地电压方法利用零线断线时中性点位移电压升高的特征。这些方法原理简单，但采用相零电压的方法在电动机启动、线路较长或三相负载不平衡度较大时会造成保护误动作；而零-地电压方法当三相负载不平衡度较大时产生的不平衡电压也可能造成保护误动作。

为了解决零线断线检测方案存在的问题，本文理论分析了三相配电系统发生零线断线时中性点位移电压和负载不平衡度的特征关系，提出了一种带零线电流闭锁的零序电压识别零线断线的保护方案，详细说明了中性点位移电压的获取方法，并研究了保护的布点方案。

## 2. 配电系统零线断线时中性点位移电压特征

配电系统为 TN 系统，等效电路如图 1 所示。

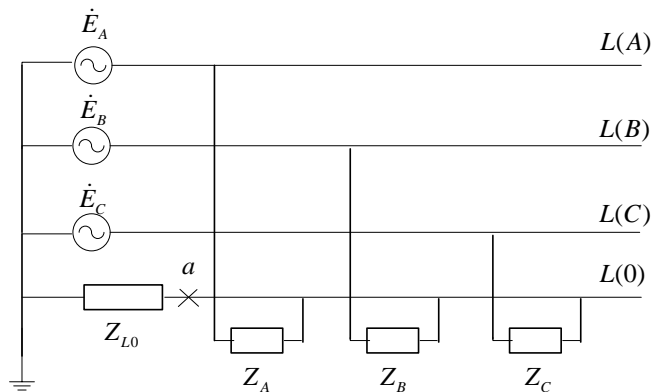


Figure 1. Equivalent circuit of zero line disconnection in distribution system

图 1. 配电系统零线断线的等效电路图

其中  $\dot{E}_A$ 、 $\dot{E}_B$ 、 $\dot{E}_C$  分别为三相电势， $Z_A$ 、 $Z_B$ 、 $Z_C$  分别为三相负载阻抗， $Z_{L0}$  为零线阻抗。

当图 1 中 a 点发生零线断线时，考虑断零点后三相均有负载，假设三相负载的功率因素相同，但三相负载不平衡，其中 C 相负载最大，为额定负载。

由基尔霍夫定律可得：

$$\frac{\dot{E}_A - \dot{U}_0}{Z_A} + \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_0}{Z_B} + \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_0}{Z_C} = 0 \quad (1)$$

计算可得中性点位移电压：

$$\dot{U}_0 = \left( \frac{\dot{E}_A}{Z_A} + \frac{\dot{E}_B}{Z_B} + \frac{\dot{E}_C}{Z_C} \right) \bigg/ \left( \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} \right) \quad (2)$$

取三相功率分别为  $S_A$ 、 $S_B$ 、 $S_C$ ，定义 A 相和 B 相的负载不平衡度  $k_A = \frac{S_C - S_A}{S_C}$ ， $k_B = \frac{S_C - S_B}{S_C}$ ，

即  $\frac{Z_C}{Z_A} = 1 - k_A$ ， $\frac{Z_C}{Z_B} = 1 - k_B$ 。代入式(2)可得：

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_A(1 - k_A) + \dot{E}_B(1 - k_B) + \dot{E}_C}{3 - k_A - k_B} \quad (3)$$

定义相电势  $|\dot{E}_A| = 1$ ，取 A 相和 B 相负载不平衡度  $k_A = 0 \sim 0.9$ 、 $k_B = 0 \sim 0.9$  时，代入式(3)，计算可得中性点位移电压模值，中性点位移电压模值和负载不平衡度关系表和关系曲线如表 1 和图 2 所示。

由分析可得：断零点后有三相负载时，中性点位移电压大小与三相负载不平衡度有关。即负载大的相电压低，而负载小的相电压高，三相负载不平衡程度越严重，三相电压不平衡程度越严重。当负载不平衡度大于 30% 时，中性点位移电压超出额定电压的  $\pm 10\%$  范围，负载可能不能正常工作。

### 3. 零线断线保护原理

#### 3.1. 中性点位移电压的获取

0.4 kV 配电系统零线断线时，断零点后测量到的电压量仅为 A、B、C 相的负载电压  $\dot{U}_{A0}$ 、 $\dot{U}_{B0}$ 、 $\dot{U}_{C0}$ 。

定义  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  为负载侧 A、B、C 相对地电压， $Z_L$  为相线的阻抗，且考虑三相线路阻抗相等。

$$\begin{aligned} \dot{U}'_0 &= \frac{-(\dot{U}_{A0} + \dot{U}_{B0} + \dot{U}_{C0})}{3} \\ &= \dot{U}_0 - \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{3} \end{aligned} \quad (4)$$

定义相线产生的不平衡电压为  $\dot{U}_{imb} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{3} = \frac{\dot{i}_0 Z_L}{3}$ ，其中  $\dot{i}_0$  为零线电流。当零线断线时，

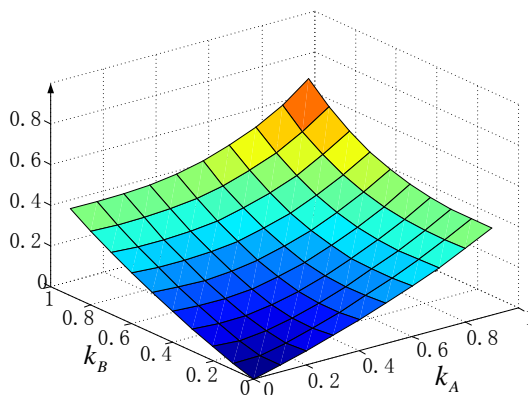
$\frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{3} = 0$ ， $\dot{U}'_0$  即中性点对地位移电压。

#### 3.2. 零线断线保护原理

当检测方法仅利用中性点位移电压时，在正常运行且三相负载不平衡度较大时可能误判。基于前面的分析，提出一种基于零线电流闭锁的零线断线检测方法。在零线上装设穿心式电流互感器测量零线电流，该保护原理同时利用中性点位移电压量和零线电流量，当零序差动电压大于定值且零线电流小于定值时才判定为零线断线。正常运行时，如果中性点位移电压大于定值，由于零线阻抗较小，必然产生很

**Table 1.** Relation between voltage of neutral point and load unbalance when three phases load remains behind the zero line disconnection**表 1.** 断零点后有三相负载，中性点位移电压和负荷不对称度关系表

$k_A$		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$k_B$	$U_0$										
0	0	0	0.034	0.071	0.111	0.154	0.200	0.250	0.304	0.364	0.429
0.1	0.034	0.036	0.064	0.102	0.144	0.191	0.242	0.298	0.360	0.427	0.427
0.2	0.071	0.064	0.077	0.106	0.144	0.190	0.241	0.297	0.361	0.431	0.431
0.3	0.111	0.102	0.106	0.125	0.157	0.198	0.247	0.304	0.368	0.441	0.441
0.4	0.154	0.144	0.144	0.157	0.182	0.218	0.265	0.320	0.385	0.459	0.459
0.5	0.200	0.191	0.190	0.198	0.218	0.250	0.293	0.347	0.412	0.488	0.488
0.6	0.250	0.242	0.241	0.247	0.265	0.293	0.333	0.386	0.451	0.529	0.529
0.7	0.304	0.298	0.297	0.304	0.320	0.347	0.386	0.438	0.503	0.585	0.585
0.8	0.364	0.360	0.361	0.368	0.385	0.412	0.451	0.503	0.571	0.657	0.657
0.9	0.429	0.427	0.431	0.441	0.459	0.488	0.529	0.585	0.657	0.750	0.750

**Figure 2.** Relation between voltage of neutral point and load unbalance when three phases load remains behind the zero line disconnection**图 2.** 断零点后有三相均有负载时，中性点位移电压和负载不平衡度的关系曲线

大的零线电流，不满足零线电流判据，保护不动作。零线断线时，中性点位移电压增大且零线电流为零，保护动作。同时利用中性点位移电压和零线电流两个条件判据，提高了检测方法的可靠性。具体判据如式(5)所示，

$$|\dot{U}'_0| \geq U_{set} \text{ 且 } |\dot{i}_0| \leq I_{set} \quad (5)$$

零序差动电压定值整定：考虑到单相负载在额定电压的 $\pm 10\%$ 范围内均可正常工作。电压定值按照额定电压的 10% 整定，即 22 V。

### 3.3. 保护原理的性能比较

利用相零电压的检测方法电气量获取容易，原理简单、经济，但当异步电动机启动或三相负载不平衡度较大时产生的不平衡电压也可能造成保护误动作。利用零地电压的方法不受电动机启动的影响，但线路较长或三相负载不平衡度较大时会造成保护误动作；零线电流闭锁的零线断线检测方法同时利用中性点位移电压和零线电流两个条件判据，解决了正常运行时三相负载不平衡度较大时会造成的保护误动作，但该方法需要获取零线电流，增大了设备投资。

#### 4. 零线断线保护的布点方案研究

零线断线保护存在其特殊性,即零线断线时,所影响的是断零点后的负荷,保护对象为负荷。且当零线断线故障时,中性点位移偏移特征出现在断零点后。

因保护对象为负荷,故如需保护所有负荷,需在所有负荷终端装设零线断线保护,增大了运行检修的工作量,零线断线保护布点方案的研究十分重要。

##### 1) 架空线两级布点方案

两级布点方案如图3所示,在公用配电站的主线出线端A和线路末端(P和Q)的计量装置总开关位置装设断零保护装置。A点断零保护动作时间为0 S,末端断零保护动作时间500 ms。线路末端负荷是否装设零线断线保护根据负荷容量及负荷重要程度考虑。

A点断零保护用于反应变压器引出线到主线开关之间的零线断线,P点断零保护反应AP间的零线断线,保护P点后的负荷。

该布点方案简单,节省设备投资,但当AB间零线断线时,P、Q点保护均动作,增大了维护的工作量。

##### 2) 架空线多级布点方案

采用两级布点方案增大了维护的工作量,提出了一种多级布点方案。除按照图3的布点方案安装断零保护外,在主线路的中间位置装设断零保护器即图4中的B点和C点(根据线路长短和支线的多少考虑,相隔不超过150米装设一台),断零保护的延时 $\Delta t = 500\text{ ms}$ 。

采用多级布点方案,当AB间零线断线时,先跳开B点断零保护器,末端负载P、M、Q不再跳开,减少了运行维护量,但由于增加了延时,末端负载保护动作时间长。

当主线上的支线较长(大于200米)且负载容量大,且该架空线支线零线断线故障率较高时,支线也可采用多级布点方案(图4)。

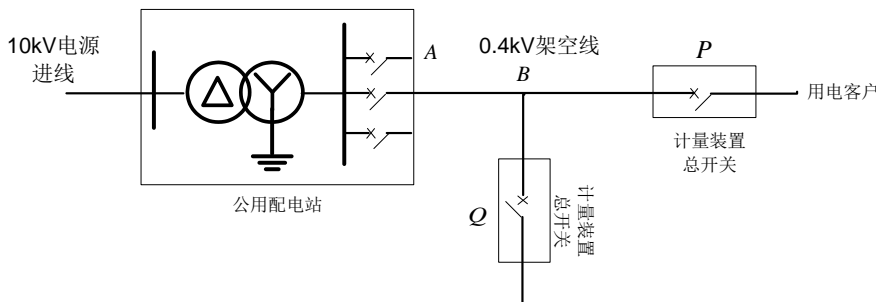


Figure 3. The layout scheme with two-stage

图3. 两级布点方案

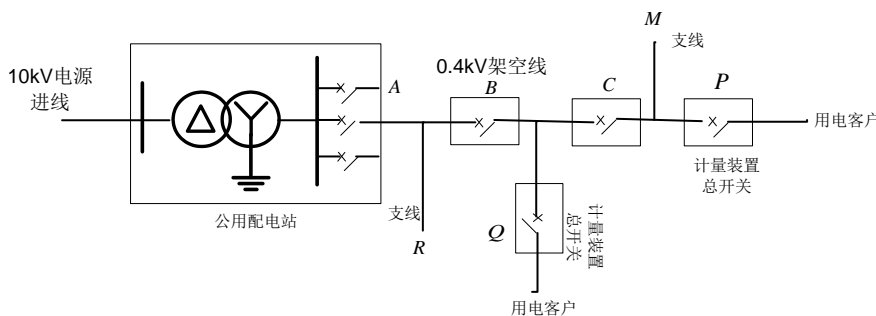


Figure 4. The layout scheme with multiple-stage

图4. 多级布点方案

## 5. 结论

传统的利用相零电压和零地电压的零线断线保护在正常运行且三相负载不平衡度较大时会造成保护误动作。论文针对上述问题进行研究, 论文分析了 0.4 kV 配电系统零线断线时的中性点位移电压特征。提出了一种综合利用中性点位移电压和零线电流的零线断线保护原理, 该原理当零序差动电压大于定值且零线电流小于定值时才判定为零线断线, 解决了正常运行由于负载不平衡度较大造成的保护误动作, 设计了零线断线保护的布点方案。但该方法需要获取零线电流, 增大了设备投资。且当零线断线故障时, 中性点位移偏移特征出现在断零点后, 故如需保护所有负荷, 需在所有负荷终端装设零线断线保护。随着配电网设备智能化和通讯网络的发展, 可研究合理的保护方案跳开断线前的断路器, 减小运行维护的工作量。

## 参考文献 (References)

- [1] 耿毅. 工业企业供电[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
- [2] 陈玉凤. 三相四线制供电系统中性点电位偏移的分析与监控[J]. 电工技术杂志, 2002(6): 44-46.
- [3] 罗明. 对三相四线制供电系统中性点电位偏移的研究[J]. 电气开关, 2003, 41(3):36-37.
- [4] 刘亦萍. 关于中性点电位偏移的分析与防护[J]. 上海第二工业大学学报, 2005(3): 31-36.
- [5] 秦曾煌. 电工技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 157-164.
- [6] 郑楚韬, 陈永杰. 三相四线制系统零线断线检测及保护研究[J]. 电气技术, 2008(8): 83-85.
- [7] 朱雪凌. 三相四线制低压配电系统中零线断线过电压保护[J]. 华北水利水电学院学报, 2004, 25(3): 33-35.
- [8] 王勇, 李志勇, 王永忠. 实现三相四线制供电系统中性线断线保护智能装置的研究[J]. 低压电器, 2011(5): 18-22.