

# 适用于弱电强磁平行线路的序分量方向元件

张琦兵<sup>1</sup>, 苏大威<sup>1</sup>, 徐春雷<sup>1</sup>, 彭志强<sup>2</sup>

(1. 国网江苏省电力公司, 江苏 南京 210024; 2. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘要:** 针对于弱电强磁情况下平行线路相邻线接地故障时引起本线路零序方向元件误判的问题, 分析了不同故障下各电压序分量的特点, 基于不同的电压序分量, 形成了零序方向元件。该方向元件根据不同故障类型, 使用零序电压与正序电压合成方式作为比相参考电压。新提出的零序方向元件在弱电强磁的平行线路系统中能正确判别故障方向, 防止纵联零序方向保护的误动, PSCAD 仿真验证了该方向元件的有效性。

**关键词:** 弱电强磁; 平行线路; 方向元件

中图分类号: TM773

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)06-0042-03

平行线路共用输电走廊能有效提升土地利用效率, 具有良好的经济效益, 在城市电网的快速发展中, 得到广泛应用。随着电网连接方式的日趋复杂, 平行线路也给继电保护带来了零序互感和弱电强磁等问题。弱电强磁是指输电系统中, 同塔架设或共用输电走廊的两回输电线路间的线间互感较大, 而输电线路两端的系统连接较为薄弱, 即磁的联系较强而电的联系较弱。由于弱电强磁输电系统和运行方式的存在, 相邻线接地故障时非故障线纵联零序方向误动的案例也屡屡发生<sup>[1-4]</sup>。

针对于平行线路弱电强磁下零序方向元件的误动, 文献[2]的分析指出非故障线路两侧零序电压方向反向是常规零序方向误动的必要条件。根据弱电强磁下零序电压反向的问题, 继电保护工作者提出了不同的解决方法<sup>[2-5]</sup>。文献[2,3]提出采用基于故障类型的零序方向元件替代常规零序方向元件的解决方案, 该方案仅考虑到单相接地故障时弱电强磁的问题, 对于两相接地故障并未涉及。基于负序分量不受平行线路互感影响的原理, 文献[4]提出了利用负序功率方向元件代替零序方向元件的参与纵联方向保护判断, 取得了良好的效果, 但是负序判据计算较零序更为复杂。文献[5]着重于消除零序互感的影响, 提出了利用电压作差的方式参与方向元件比相, 为弱电强磁下的零序方向保护提出了一种新思路。本文从弱电强磁下各电气量相量变化入手, 提出了根据不同故障的类型, 采用了零序电压与正序电压合成后参与比相的方向元件新方案, 理论分析和软件仿真验证了该方案的可行性。

## 1 基于序分量的方向元件

### 1.1 零序方向元件

常规的零序方向保护的判据如下:

$$\Phi_1 < \arg\left(\frac{3U_0}{3I_0}\right) < \Phi_2 \quad (1)$$

式(1)中:  $U_0, I_0$  分别为保护安装处的零序电压和零序电流;  $\Phi_1, \Phi_2$  为动作门槛,  $\Phi_1$  约为  $180^\circ$ ,  $\Phi_2$  约为  $360^\circ$ 。

零序方向元件的动作区域如图1所示。当式(1)成立时, 其相位比较计算的结果落在图1所示的阴影区, 方向元件判断为正方向故障。

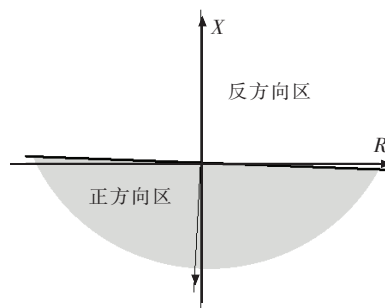


图1 零序方向元件的判别区域

由于零序方向元件方向性明确, 灵敏度高, 结合高频通道形成的纵联零序方向保护在电力系统中得到了广泛的应用。

### 1.2 弱电强磁系统

一典型的弱电强磁平行双回线系统如图2所示。两回输电线路同杆架设或共用输电走廊, 其显著的特点是双回线间磁的联系较强, 即双回线线间互感  $Z_p$  较大; 而电的联系较弱, 也即2个系统之间的等值联络阻抗  $Z_{ll}$  也较大。平行线弱电强磁的形成有可能是因为电网建设的过渡期造成的, 也可能是因为设备检修、继电保护的纵续动作等临时方式所导致<sup>[5-8]</sup>。

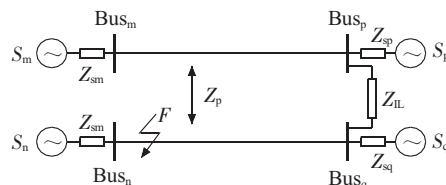


图2 典型弱电强磁输电系统

根据文献[2]的详细推导分析,弱电强磁系统下式(1)中零序方向误判的根本原因是:在相邻线接地故障时,由于零序互感的影响,使得保护安装处的零序电压反向。假设图2所示中的系统F点处发生A相接地故障,其电压相量图如图3所示,没有零序互感影响时, $U_0$ 与 $U_A$ 反向,此时式(1)的判据能正确判断为反方向故障,保护不动作。当受零序互感影响时, $U_0$ 会反向,如图中 $U_0$ 和 $U_A$ 同相位,进而导致零序方向元件误判。

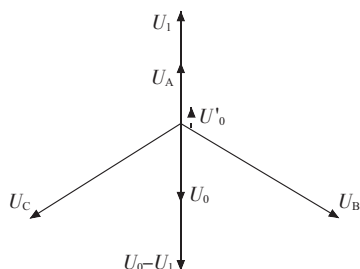


图3 A相接地故障时电压相量图

### 1.3 基于零序与正序电压合成的零序方向元件

根据图3所示,在弱电强磁系统中单相接地故障时,保护安装处的正序电压不受零序互感的影响,可以利用此特点防止弱电强磁系统中纵联零序方向保护的误动。图3中,单相接地故障时,因为基于故障相的正序电压与零序电压反相,可以利用零序电压与正序电压作差合成后作为比相参与电压。两相接地故障时弱电强磁系统的电压相量图如图4所示,基于非故障相的正序电压与零序电压同相,可以将正序电压和零序电压作和参与式(1)中的判据计算。

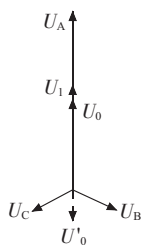


图4 BC相接地故障时电压相量图

根据上述的分析,基于序电压的方向元件动作判据为:

$$\Phi_1 < \arg\left(\frac{3U_0 - U_1}{3I_0}\right) < \Phi_2 \quad (2)$$

$$\Phi_1 < \arg\left(\frac{3U_0 + U_1}{3I_0}\right) < \Phi_2 \quad (3)$$

式(2,3)中: $U_0, U_1, I_0$ 分别为保护安装处的零序电压、正序电压和零序电流; $\Phi_1, \Phi_2$ 为动作门槛, $\Phi_1$ 约为 $180^\circ$ , $\Phi_2$ 约为 $360^\circ$ 。

式(2)适用于单相接地故障,式(3)适用于两相接地故障。在实现时,可以先利用故障选相技术确定故障相,再判断故障的方向问题。

## 2 仿真分析

### 2.1 仿真系统建立

利用PSCAD按照图2所示系统建立仿真模型,该系统为500 kV同杆双回线路,线路总长50 km,系统阻抗参数和线路参数如表1、表2所示。

表1 系统阻抗参数  $\Omega$

系统阻抗	正序	零序
$S_m$	$15.12 \angle 84.5^\circ$	$28.9 \angle 86^\circ$
$S_n$	$35.6 \angle 84^\circ$	$75.3 \angle 84^\circ$
$S_p$	$32.24 \angle 84^\circ$	$52 \angle 85^\circ$
$S_q$	$21 \angle 80^\circ$	$53 \angle 85^\circ$

表2 线路参数 ( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )

$Z_i$	$Z_m$	$Z_p$
$0.1225 + j0.6637$	$0.0879 + j0.2855$	$0.0878 + j0.245$

表2中, $Z_i$ 为线路的自阻抗, $Z_m$ 为相间互阻抗, $Z_p$ 为两回线间的线间互阻抗。

2个系统间的等值联络阻抗,正序阻抗为 $14.8 + j82.3097 \Omega$ ,零序阻抗为 $50.2 + j196.0354 \Omega$ 。

在图2中的F点模拟A相单相接地故障和BC两相接地故障,对于传统的纵联零序方向元件, $\text{Bus}_m$ 处的零序方向元件判断故障为正方向,而安装在 $\text{Bus}_p$ 处的零序方向在弱电强磁的影响下,也会判断为正方向故障,从而导致该非故障线路的纵联零序方向保护误动作。本文重点分析安装在 $\text{Bus}_p$ 处零序方向元件的动作情况。

### 2.2 单相接地故障

为F点A相接地故障时 $\text{Bus}_p$ 方向元件的仿真计算结果如图5、图6和表3所示。

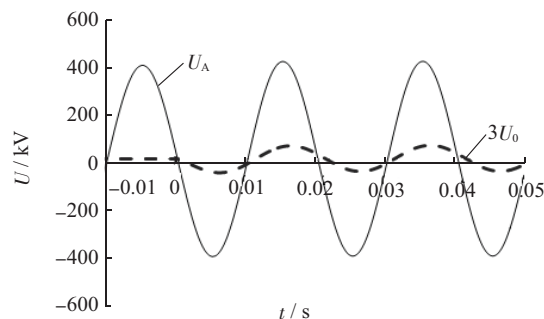


图5 A相接地时零序电压变化情况

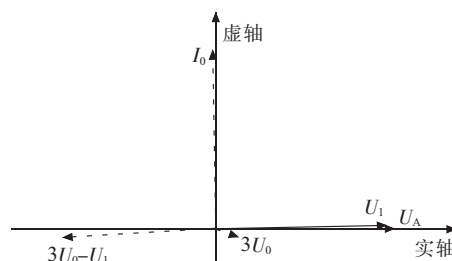


图6 A相接地故障1周波后各电气量相量图

表 3 A 相接地故障 1 周波后各相量的值

电气量	相量值
$U_A / V$	$430\ 217 \angle 0.149^\circ$
$U_1 / V$	$413\ 224 \angle 1.047^\circ$
$3U_0 / V$	$56\ 513 \angle -19.774^\circ$
$3U_0 + U_1 / V$	$360\ 960 \angle -175.76^\circ$
$I_0 / A$	$991 \angle 90.386\ 1^\circ$

图 5 中,  $F$  点 A 相接地故障时,  $Bus_p$  的零序电压反相, 几乎与 A 相电压同相, 与图 3 中电压相量分析的结果一致。

根据图 6 所示, 常规的零序方向保护此时的动作角度为  $-119^\circ$ , 零序方向元件判断为正方向动作, 会出现误动作情况。如果采用作为比相电压, 即式(2)的动作判据角度为  $95^\circ$ , 基于式(2)的新型零序方向元件判断准确, 不会出现误动。

### 2.3 两相接地故障

$F$  点 BC 相接地故障时 Bus 方向元件的仿真计算结果如图 7、图 8 和表 4 所示。

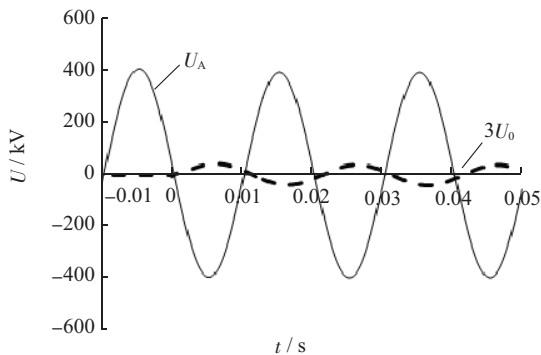


图 7 BC 相接地故障时零序电压变化

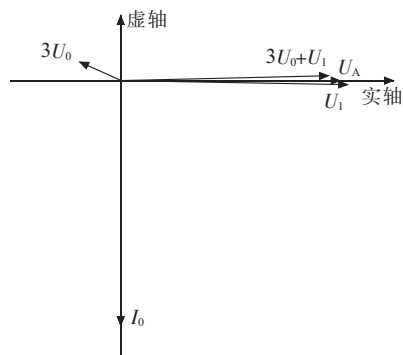


图 8 BC 相接地故障 1 周波后各电气相量图

表 4 BC 相接地故障 1 周波后各相量的值

电气量	相量值
$U_A / V$	$401\ 010 \angle -0.091^\circ$
$U_1 / V$	$411\ 941 \angle -0.761^\circ$
$3U_0 / V$	$39\ 620 \angle -158.753^\circ$
$3U_0 + U_1 / V$	$375\ 083 \angle 1.358^\circ$
$I_0 / A$	$696 \angle -89.953^\circ$

图 7 中,  $F$  点 BC 相接地故障时, 由于平行线强磁的影响, 导致零序电压与 A 相电压反相, 与图 4 中电压相量分析的结果一致。

根据图 8 所示, 零序电压滞后零序电流约  $110^\circ$ , 基于式(1)的常规零序方向保护判断为正方向, 判断错误。若采用式(3)的判据, 此时超前零序电流约  $95^\circ$ , 能正确地判断出故障的方向性, 防止纵联零序方向保护误动作。

### 3 结束语

基于平行线路强耦合后序电压变化的特点, 本文提出了根据故障类型采用零序电压与正序电压合成参与比相的零序方向元件, 该方向元件利用正序分量不受零序互感影响的特点, 从而保证了相邻线故障时本线纵联方向保护的动作正确性, 该方向元件适合弱电强磁的输电系统, 同时也适用于正常的输电线路, PSCAD 仿真计算表明该方案作为纵联方向保护方向元件的有效性。

#### 参考文献:

- [1] 孙文华, 袁宇波, 黄浩声. 一起不同电压同杆双回路纵联零序保护动作分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(6): 12-14.
- [2] 宋国兵, 刘志良, 粟小华, 等. 西北 330 kV 线路弱电强磁问题的分析及采取的措施[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 121-125.
- [3] 樊占峰, 叶东印, 李瑞生, 等. 平行线弱电强磁模型下零序方向元件改进[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 100-103.
- [4] 蒋苏静, 毕天姝, 徐振宇, 等. 平行双回路纵联零序方向误动原因分析及负序功率方向研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 21-26.
- [5] 张琦兵. 平行线弱电强磁下零序方向元件的改进[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(7): 94-98.
- [6] 杨先义, 王华, 陈漫. 强磁弱电系统中一起保护误动作分析[J]. 四川电力技术, 2009, 32(6): 75-78.
- [7] 王先强, 金晟, 陈伟, 等. 存在强磁弱电的 110 kV 线路保护误动分析[J]. 电工技术, 2013(8): 16-18.
- [8] 陈少华, 梁志雄, 孙何洪. 电力网超高压平行双回路弱电强磁现象仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(22): 1-7.

#### 作者简介:

张琦兵(1985), 男, 贵州开阳人, 工程师, 从事电力系统保护与控制等方面工作;

苏大威(1972), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 从事电力调度自动化研究和管理的工作;

徐春雷(1976), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 从事电力调度自动化方面的工作;

彭志强(1986), 男, 江西上饶人, 工程师, 从事电力调度自动化研究工作。

(下转第 49 页)

- [11] 何整杰,李震彪,梁盼望. 输电线温度及载流量的 ANSYS 计算方法[J]. 浙江电力,2010,29(8):1-5.
- [12] Q/GDW 179—2008,110~750 kV 架空输电线路设计规范[S].
- [13] 张国顺. 现代激光制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:23-29.
- [14] 柳亚芳. 基于参数辨识的架空导线载流温升热路模型研究[D]. 南京:南京理工大学,2015.

作者简介:

黄清(1968),男,江苏常州人,高级工程师,从事电网设备状态分析及技术管理工作;

魏旭(1974),男,江苏连云港人,教授级高级工程师,从事高电压及变电设备技术研究与管理工;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事高电压技术研究工作。

## Research on Temperature Effect of Laser on Overhead Transmission Line

HUANG Qing<sup>1</sup>, WEI Xu<sup>1</sup>, ZHOU Zhicheng<sup>2</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The foreign body cleaner based on directed energy laser is a new type of foreign body removal tool which is effective, safe, convenient, and practical. It can remove foreign bodies of overhead transmission line remotely under live working condition. When the laser device cleans foreign bodies, the local temperature rise of wire may happen, followed with local damage of wire or abnormal operation of power transmission line. Theoretical analysis and multi-physics finite element simulation are carried out to study the local temperature variation and temperature field distribution of wire under laser action. The simulation results show that the laser absorption rate and the wire diameter have great effect on wire temperature during the laser action on wire. The simulation results of laser irradiating aluminum cable steel reinforced (ACSR) LGJ-300/50 show that the laser irradiation can result in local temperature rise with the upper limit of 170°C, and the local conductivity of current carrying conductor has an uneven distribution related with temperature.

**Key words:** foreign body removal; laser; overhead line; wire; temperature

(上接第 31 页)

## Application of Infrared Temperature Measurement Technology in Start-up and Commissioning of UHV

WANG Chen, TAO Jiagui, MA Yong, XIAO Lei, SHI Jinglei

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The infrared temperature measurement technology is widely used in detecting and repairing electrical equipment, but hasn't been used in substation start-up and commissioning. In this paper, the infrared temperature measurement technology applied into the start-up and commissioning of ultra-high voltage project in two engineering cases are introduced. Finally, the problems of and corresponding suggestions to infrared temperature measurement technology for start-up and commissioning are proposed.

**Key words:** ultra-high voltage; infrared temperature; start-up and commissioning; eliminate defects

(上接第 44 页)

## Directional Component Based on Sequence Component for Parallel Lines with Magnetically Strong and Electrically Weak Connection

ZHANG Qibing<sup>1</sup>, SU Dawei<sup>1</sup>, XU Chunlei<sup>1</sup>, PENG Zhiqiang<sup>2</sup>

(1.State Grid Jiangsu Electrical Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The zero sequence directional component gives the wrong judgment when ground faults occur on the other line of the parallel transmission lines with magnetically strong and electrically weak connection. Focused on the problem, the characteristics of voltage sequence components under different faults are analyzed. Based on different voltage sequence components, a new zero sequence directional component is proposed in this article. Considering the different types of faults, the new zero sequence directional component takes the synthetic value of zero sequence voltage and positive sequence voltage as the reference voltage of phase comparison. The new proposed zero sequence directional component can distinguish the fault direction correctly for parallel transmission lines with magnetically strong and electrically weak connection, preventing the unwanted operation of the pilot zero sequence directional protection. The simulation by PSCAD verifies the effectiveness of the new directional component.

**Key words:** weak electrical and strong magnetic; parallel lines; directional component