

基于无死区零序功率方向的纵联零序保护

习伟¹ 李天华²

(1. 南方电网科学研究院 广东 广州 510080; 2. 四川省电力公司 四川 成都 610041)

摘要:常规纵联零序保护的功率方向元件有一定零序电压门槛,因而会存在电压死区,若在一侧零序阻抗特别小的长线路中发生高阻接地故障时,有可能使该侧零序电压低于门槛值,导致纵联零序方向保护拒动。针对该问题,在考虑不平衡零序电压的条件下,提出一种通过判断补偿零序电压与保护安装处零序电压大小的方法,可有效判断出正反方向故障。仿真结果表明,本方案简单,易于实现,可提高纵联零序方向保护的可靠性。

关键词:纵联零序保护; 方向元件; 无死区; 补偿电压

Abstract: There is a certain zero - sequence voltage threshold for power directional component of conventional pilot zero - sequence protection, and thus there will be voltage dead zone. If high - resistance grounding fault occurs on the long lines whose zero - sequence impedance is very small in one side, it is possible to make the zero - sequence voltage below the threshold, resulting in the malfunction of zero - sequence directional protection. To solve the problem, a method by comparing the zero - sequence compensating voltage and the zero - sequence voltage at the place equipped with protection is proposed considering the imbalance zero - sequence voltage, which can effectively determine the positive or negative direction of the fault. The simulation results show that the proposed scheme is simple and easy, and can improve the reliability of pilot zero - sequence directional protection.

Key words: pilot zero - sequence protection; directional component; no - dead - time; compensating voltage

中图分类号: TM773 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2011)06 - 0017 - 04

纵联零序方向保护是超高压线路保护的重要组成部分,具有原理简单、实现方便、灵敏度很高、抗过渡电阻能力强、不受系统振荡和正常负荷变化等因素影响等优点。在线路发生单相金属性接地或经过渡电阻接地故障的保护,能快速切除故障,已经在高压线路中广泛应用,使得该原理在故障方向判别的应用已经取得了一定的成果并积累了许多实际运行经验^[1-2]。但是,随着电力系统网络的不断发展和结构的日益复杂,出现了很多比较特别的接线方式,这些接线方式将产生很多新的问题。例如在长线路末端经高阻接地故障时,若线路背侧零序阻抗很小时,可能会导致保护测量到的零序电压小于装置中的零序功率方向元件的最小动作电压,从而造成方向元件不动作,即使零序电流达到动作值,纵联零序方向保护仍将拒动,无法快速切除接地。因此,针对该现象,有必要在传统的纵联零序方向保护方案的基础上进行改进,消除零序功率方向元件的电压死区,提高纵联零序方向保护的性。

1 零序功率方向的应用现状

纵联零序方向保护是通过判断两侧的零序功率方向及零序电流大小,在此基础上利用通道信息将继电器对故障方向判别的结果传送到对侧,每侧保护根据两侧继电器的动作经过逻辑判断区分是区内还是区外故障^[1]。一般来说,零序功率正方向判据如下。

$$-90^\circ < \text{Arg} \frac{3\dot{U}_0}{Z_0 \cdot 3\dot{I}_0} < 90^\circ \quad (1)$$

其中 $3\dot{U}_0$ 为保护安装处零序电压; $3\dot{I}_0$ 为保护安装处零序电流; Z_0 为系统零序阻抗。

针对如上比相式判据,为保证判据的准确性,必须对分子分母取一定门槛值,其目的在于防止其中一项偏小时,因测量误差造成装置采集零序电流或者零序电压不准确,进而造成零序方向元件误判。其中,作为纵联零序保护的基本要求,零序电流必须要大于零序电流启动定值或纵联零序定值才进入纵联零序逻辑,这样可保证零序电流满足测量条件,而式(1)

中 Z_{0r} 为装置内部的整定值,表示线路的单位零序阻抗,不存在测量误差。因此对整个功率方向元件判据来说,只有在零序电压大于一定门槛值时,才能正常启动常规零序正反方向判据。

正常运行时可能会有不平衡零序电压,按照规程^[3]对交流电源的技术要求:三相电源的各相电压或线电压之差应不大于相电压或线电压平均值的1%,相电压之间的角差应相同,允许角差为 2° 的规定,不平衡零序电压大约为1%的相电压,约为0.577V。基于此前提下,式(1)作为常规零序功率正方向的判断条件,为防止不平衡零序电压叠加在故障分量上导致方向元件误判,零序电压必须大于一定的门槛值^[4],一般情况下,可考虑取1~2V。

2 无死区零序功率方向的原理

2.1 基本思路

无死区零序功率方向的实现思路是当保护安装处的零序电压大于门槛值时,通过常规比相式零序功率方向判据来判断正反方向故障;当保护安装处的零序电压小于门槛值时,通过判断补偿点零序电压的与保护安装处的零序电压大小来区分正反方向故障。比幅式零序功率正方向判据如下。

$$|3\dot{U}_0 - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |3\dot{U}_0| \quad (2)$$

其中 $3\dot{U}_0$ 为保护安装处零序电压; $3\dot{I}_0$ 为保护安装处零序电流;零序补偿系数 $K = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{3Z_{L1}}$; \dot{Z}_{L1} 为被保护线路正序阻抗; Z_{L0} 为被保护零序阻抗。

对于220kV及以上电压等级超高压线路,由于正序阻抗角和零序阻抗角差不大,可忽略二者的差异,对式(2)进行简化,即可得到

$$|3\dot{U}_0 - 0.7 \times 3\dot{I}_0 \dot{Z}_{L1}| > |3\dot{U}_0| \quad (3)$$

从上式可知,式(2)的左侧即为从保护安装处开始,补偿到线路全长70%处的零序电压,右侧即为保护安装处的零序电压。故可以明确,无死区的零序功率方法在零序电压低于门槛值时的具体实现方法是将保护安装处的零序电压补偿到线路全长70%处,当补偿点零序电压大于保护安装处零序电压,可判断为正方向故障;当补偿点零序电压小于保护安装处的零序电压时,可判断为反方向故障。

2.2 原理分析

为明确线路故障时零序电压与补偿电压的幅值

关系,可通过故障时零序电压分布图来分析。根据系统故障时零序网络图,正、反方向故障时线路零序电压幅值分布图如图1所示^[1]。

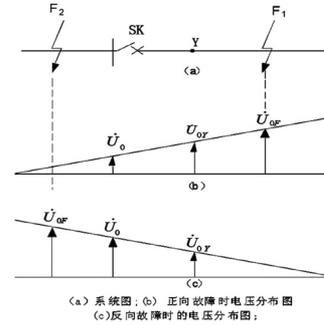


图1 线路故障时的零序电压分布图

图1中 \dot{U}_0 为保护安装处零序电压; \dot{U}_{0F} 为故障点零序电压; \dot{U}_{0Y} 为补偿点零序电压。从图可知,在正方向故障时补偿点零序电压大于保护安装处零序电压,在反向故障时保护安装处零序电压大于补偿点零序电压。若不考虑在保护安装处的零序不平衡电压 \dot{U}_{0BPH} , $3\dot{U}_0$ 全部为故障分量 \dot{U}_{0GZ} ,正方向故障时有如下判据满足:

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |\dot{U}_{0GZ}| \quad (4)$$

至此,在不考虑零序不平衡电压的情况下,式(2)可作为正反方向故障的判断依据。然而,在正常运行系统中,固定存在着一定大小的不平衡零序电压,特别是故障零序电压较小时,不平衡零序电压的影响尤为显著。因此,零序故障电压和零序不平衡电压同时存在时,式(2)需要满足什么条件才能成立是下面分析的重点。

考虑到在超高压线路中,在不考虑不平衡电压零序电压条件下,在正方向故障时,从图1中可推导出

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| = |\dot{U}_{0GZ}| + |3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| \quad (5)$$

假定 $|3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 2|\dot{U}_{0BPH}|$,上式即可变为

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > |\dot{U}_{0GZ}| + 2|\dot{U}_{0BPH}| \quad (6)$$

再次进行简化,可得到

$$|\dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| - |\dot{U}_{0BPH}| > |\dot{U}_{0GZ}| + |\dot{U}_{0BPH}| \quad (7)$$

考虑到

$$|\dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]|$$

$$\begin{aligned}
 > = | \dot{U}_{0GZ} - 3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}] | - | \dot{U}_{0BPH} | \\
 | \dot{U}_{0GZ} | + | \dot{U}_{0BPH} | > = | \dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} | \quad (7)
 \end{aligned}$$

最终可得到

$$\begin{aligned}
 | \dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} - \dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}] | \\
 > | \dot{U}_{0GZ} + \dot{U}_{0BPH} | \quad (8)
 \end{aligned}$$

作为比幅式零序功率方向正方向判断条件,式(8)与式(4)相比,考虑了不平衡零序电压的影响。根据上述公式推导过程,考虑不平衡零序电压影响时,但只要假定 $|3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 2|\dot{U}_{0BPH}|$,式(8)显然成立。按照 DL478-92《静态继电保护及安全自动装置通用技术条件》对交流电源的技术要求,在 $\dot{U}_{0BPH} < 0.577 \text{ V}$ 时,只要 $|3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 1.2 \text{ V}$,则零序功率方向元件将不会受到零序不平衡电压的影响。

在实际工程应用中,对于长距离输电线路,因为线路本身正序阻抗大,判据 $|3\dot{I}_0 \times [0.7(3K+1)\dot{Z}_{L1}]| > 1.2 \text{ V}$ 是肯定成立的;对于短线路,按照 220 kV 线路的典型参数取线路正序阻抗 $0.43 \Omega/\text{km}$,取补偿系数 K 值为 0.67,保护装置可起动最小零序电流值为 300 A,在 TV 变比为 2 200 的情况下,10 km 的 220 kV 线路可以满足上述要求。在小于 10 km 的线路,可以参照 10 km 线路阻抗定值来补偿,依靠对侧变压器接地的正序阻抗,可保证不会过补偿。

因此,由上面分析可知,在考虑零序不平衡电压的条件下,在故障零序电压较小时,可利用式(2)作为零序功率正反方向的判断依据。

2.3 TA 断线的影响

在正常运行的系统中,当发生一侧单相或两相断线时,会出现有零序电流而无零序电压的情况,当负荷较重时会造成零序电流大于零序电流启动定值时,此时无死区的零序功率有可能会判为正方向,会造成断线侧纵联保护装置发允许信号。但对于纵联零序保护动作,至少需要两侧的零序功率方向均为正方向,才有可能动作,所以在不考虑两侧 TA 同时断线的情况下,不会因为无死区造成纵联零序误动。

3 仿真实验

为验证前面所描述的无死区零序功率方向在纵联零序方向保护中的具体应用情况,特依照高压线路典型配置,进行仿真实验。模型图如图 2 所示。

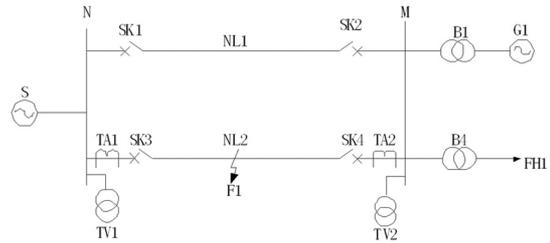


图 2 仿真实验模型图

实验参数如下。

无穷大系统 S: 短路容量为 2 300 MW;

发电机 G1: 容量为 590 MW;

负荷: 500 MW,电动机负荷占 35%,电阻性负荷占 65%;

线路长度: 平行双回线,每回线 170 km;

TV 变比: 220 kV/100;

TA 变比: 1 200 A/1;

线路二次正序阻抗: $24.60 \Omega \angle 79^\circ$;

线路二次零序阻抗: $75.80 \Omega \angle 73^\circ$;

零序补偿系数 K : 0.69。

如图 2 所示, N 侧为无穷大系统, M 侧带小发电机和负荷,开关 SK1、SK2 断开。F1 为线路中点故障。仿真试验中投入纵联零序方向保护,整定零序方向过流定值为 0.4 A,使正常运行时不平衡零序电压约为 0.5 V,同时调节故障点过渡电阻的大小以及变压器中性点阻抗使故障时零序电压降低在门槛电压 1 V 以下,观察零序纵联方向保护动作情况。

图 3 为故障时的波形图,图 4 为故障时零序电压电流量向量图。图 3 中 UMa 、 UMb 、 UMc 、 $3U_0M$ 、 IMa 、 IMb 、 IMc 、 $3I_0M$ 为 M 侧电压电流量, UNa 、 UNb 、 UNc 、 $3U_0N$ 、 INa 、 INb 、 INc 、 $3I_0N$ 为 N 侧电压电流量, M_TA 、 M_TB 、 M_TC 为 M 侧的跳闸脉冲信号, N_TA 、 N_TB 、 N_TC 为 N 侧的跳闸脉冲信号,从图中可看出两侧的纵联零序方向保护在一定延时后均正确选相跳闸。

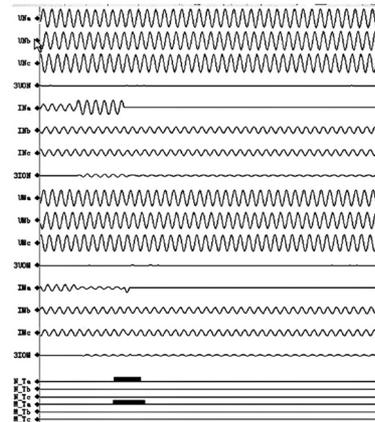


图 3 故障波形图

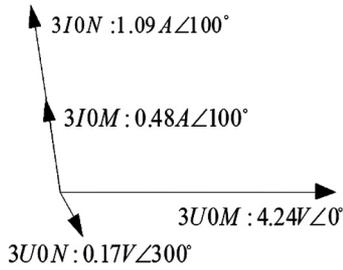


图4 零序向量图

结合图3、图4可分析出,在两侧零序电流均达到门槛值的前提条件下, M 侧零序电压大于门槛值1V,比较 M 侧零序电压电流相位,通过常规零序功率方向元件可判断为正方向,而 N 侧的零序电压约为0.17V,低于常规零序电压判断,必须使用无死区零序功率方向判断。将 N 侧故障量以及线路参数根据式(2)来验证,可知该判据满足,故障为正方向,在两侧均判断为正方向时,可通过纵联零序逻辑保证两侧可靠跳闸。本仿真试验表明了零序电压低于常规零序功率方向门槛时式(2)的正确性。

4 结论

在介绍常规纵联零序方向的基础上,针对某些故

(上接第4页)

流能有效地跟踪光照强度、环境温度的变化,且交流侧的电流成正弦且谐波较小,证明了所建模型的合理性和实用性。

参考文献

- [1] OMANH. Space Solar Power Development [J]. IEEE AES Systems Magazine, 2000, 15(2): 3-8.
- [2] 崔容强,赵春江,吴达成. 并网太阳能光伏发电系统[M]. 北京:化学工业出版社,2007:7.
- [3] J. G. McGowan and J. F. Manwell. Hybrid Wind/PV/Diesel Power Systems Modeling and South American Applications [C]. WREC 1996.
- [4] 茆美琴,余世杰,苏建徽. 风/光复合发电系统变结构仿真建模研究[J]. 系统仿真学报,2003,15(3): 361-364.
- [5] 王长贵,王斯成. 太阳能光伏发电使用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005:4.
- [6] Platon Baltas. The Arizona University Photovoltaic Designer Program(ASUPVD) [Z]. Department of Electrical and Computer Engineering, Arizona State University,1996.

障情况下零序电压低于门槛值时,常规零序功率方向不适用的条件下,提出一种通过判断补偿点零序电压的与保护安装处的零序电压大小的方式,能有效判断出正反方向故障。仿真实验表明,该方案简单、可靠,并已经充分考虑运行时不平衡零序电压的影响,成为常规零序功率方向元件的重要补充,提高了纵联零序方向保护动作的可靠性。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第3版) [M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [3] DL/T 478-92 静态继电保护及安全自动装置通用技术条件[S].
- [4] 丁晓兵,赵曼勇,徐振宇. 接地故障零序方向元件拒动改进方案[J]. 电力系统自动,2006,30(9): 88-90.

作者简介:

习伟(1980)男,工程师,从事电力系统继电保护的研究;
李天华(1948)男,教授级高级工程师,从事电力系统继电保护的研究。

(收稿日期:2011-09-13)

- [7] 余世杰,何慧若,曹仁贤. 光伏水泵系统中CVT及MPPT的控制比较[J]. 太阳能学报,1998,19(4): 394-398.
- [8] 苑进社,余世杰,何慧若. CVT光伏水泵系统瞬态工作点特性分析[J]. 太阳能学报,2002,23(5): 554-556.
- [9] Masoum M A, Dehbonei H, Fuchs E F. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic System with Voltage and Current-based Maximum Power Point Tracking [J]. Power Engineering Review, IEEE 2002, 22(8): 62-62.
- [10] 叶满园,宫二勇. 以电导增量法实现MPPT的单级光伏并网逆变器[J]. 电力电子技术,2004,40(2): 30-32.
- [11] 苏建徽,余世杰,赵为,等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报,2001,22(4): 409-412.
- [12] 茆美琴,余世杰,苏建徽. 带有MPPT功能的光伏阵列Matlab通用仿真模型[J]. 系统仿真学报,2005,17(5): 1248-1251.

作者简介:

陈向宜(1976)男,工学博士,四川电力科学研究院,长期从事电力系统稳定分析及直流输电技术研究。

李锐(1988)男,硕士研究生,研究方向为光伏并网及孤岛检测。

(收稿日期:2011-08-22)