

# 一种新的基于序分量权重的振荡闭锁再开放逻辑

李鹏程

(国网天津市电力公司城西供电公司,天津 300113)

**摘要:** 系统振荡闭锁过程中需要在发生故障时能快速开放保护。详细分析了不同故障形式下保护安装处各序电流分量的幅值特征,然后基于各自幅值特点赋予不同的权重系数,构成新的振荡闭锁再开放逻辑。新的逻辑对于一切不对称故障都适用,仿真实验证明了新的开放逻辑的正确性。

**关键词:** 序分量; 权重; 振荡闭锁; 距离保护

**Abstract:** The power swing block should be re-operated when fault occurs. The characteristics of sequence currents under different fault types are analyzed in detail. Then different weights are added to the sequence current amplitudes. The novel logic can be applied to any unbalanced fault and simulation results prove it to be correct.

**Key words:** sequence components; weight; swing block; distance protection

中图分类号: TM774 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)03-0078-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.017

## 0 引言

系统振荡属于不正常的运行状态,但不是故障状态,一般可以通过自动装置的调节拉入同步<sup>[1]</sup>。距离保护作为高压线路的主保护之一<sup>[2]</sup>,极易受系统振荡的影响:系统振荡容易诱发距离保护误动。为了防止保护误动现象,工程当中一般采用振荡闭锁逻辑:即系统振荡时,将距离保护退出运行。

但在系统振荡闭锁中,如再次发生故障,需要再次开放距离保护,及时清除故障。文献[5]通过改进启动继电器,实时计算短时开放时间,提出了对称开放和不对称开放的新判据;文献[6]利用保护安装处的电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角实现振荡闭锁和开放目的;文献[7]提出了一种基于保护安装处三序电流比值的方法识别振荡中不对称故障;文献[8]利用两相电流包络线之差的突变量作为判据识别振荡中各种不同故障;文献[9]提出了利用广域信息的距离保护振荡闭锁再开放方案,但仅适用于距离后备保护。

通过详细分析不同故障形式下保护安装处的序电流幅值的变化特征,提出了一种基于序分量权重的振荡闭锁再开放逻辑:负序电流的权重系数大于正序电流权重系数,而零序电流的权重系数最小。新的振荡闭锁再开放逻辑适用于任何的不对称故

障,大量的仿真实验结果验证了新的开放逻辑的正确性。

## 1 不同故障形式下序电流特性分析

图1给出了典型的双端电源系统示意图,其中 $Z_L$ 表示线路阻抗, $F$ 表示线路故障点。

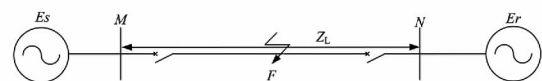


图1 双侧电源电路图

当系统两侧传输的功率周期性发生大范围变化时,称为系统振荡<sup>[11]</sup>。系统振荡时可能造成距离保护误动<sup>[10]</sup>,因此需要采用振荡闭锁逻辑来防止保护误动。但如果在闭锁过程中再次发生故障,需要闭锁环节在短时间内迅速、可靠地再次开放保护。因此寻求系统振荡中再故障时电流的暂态特性尤为关键。考虑到系统振荡不同于线路发生故障,不会产生零序和负序分量,因此可以通过研究序分量特征来识别振荡中再故障。

### 1.1 单相接地故障序电流特性分析

图2给出了发生单相接地故障时序网图,其中正、负、零三序网络通过串联相连接。 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_0$ 表示故障支路的三序电流; $E$ 表示从故障点看进去戴维南等值电动势,其幅值约等于故障点未故障时

的电压。

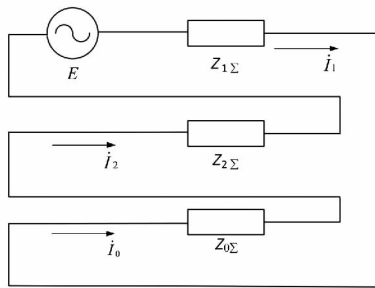


图2 单相接地故障序网图

由图2可知

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \quad (1)$$

则保护安装处的三序电流为  $C_{M1}I_1, C_{M2}I_2, C_{M0}I_0$  , 其中  $C_{M1}, C_{M2}, C_{M0}$  分别表示  $M$  侧保护安装处的三序分支系数。由于  $C_{M1} \approx C_{M2}$  则

$$C_{M1}I_1 = C_{M2}I_2 \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可得

$$|I_{m2}| + |I_{m0}| \geq |I_{m1}| \quad (3)$$

式中  $I_{m1}, I_{m2}, I_{m0}$  分别表示  $M$  保护安装处的三序电流。

### 1.2 两相接地故障序电流特性分析

图3给出了发生两相接地故障时序网图,其中正、负、零三序通过并联相连接。

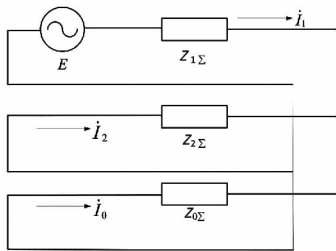


图3 两相接地短路序网图

由图3可知

$$I_1 + I_2 + I_0 = 0 \quad (4)$$

对于  $M$  侧保护安装处的三序电流,显然存在

$$\begin{cases} I_{m1} = C_{M1}I_1 \\ I_{m2} = C_{M2}I_2 \\ I_{m0} = C_{M0}I_0 \end{cases} \quad (5)$$

将式(5)代入式(4)可得

$$I_{m2} + \frac{C_{M1}}{C_{M0}}I_{m0} = -I_{m1} \quad (6)$$

由数学知识可得

$$|I_{m2}| + \left| \frac{C_{M1}}{C_{M0}}I_{m0} \right| \geq |I_{m1}| \quad (7)$$

### 1.3 相间故障序电流特性分析

图4给出了发生相间故障时序网图,其中只存在正、负序网络,不存在零序网络。

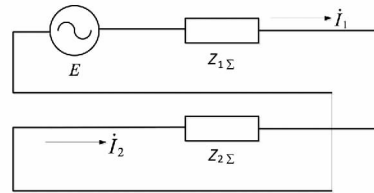


图4 相间故障序网图

由图4可知

$$I_1 = -I_2 \quad (8)$$

则  $M$  侧保护安装处存在

$$I_{m1} = -I_{m2} \quad (9)$$

虽然相同短路时不存在零序电流,但显然式(10)仍然成立。

$$|I_{m2}| + |I_{m0}| = |I_{m1}| \quad (10)$$

## 2 基于序电流权重的振荡闭锁再开放逻辑研究

通过式(3)、式(7)和式(10)可以看出,当线路发生故障时,保护安装处的三序电流大致存在如下关系:

$$|I_{m2}| + |I_{m0}| \geq |I_{m1}| \quad (11)$$

考虑到式(7)存在  $C_{M1}/C_{M0}$  系数,同时式(10)仅等号成立,为了在3种故障形式下都满足某一特定的关系式,可以将式(11)改写为

$$m_2 |I_{m2}| + m_0 |I_{m0}| \geq m_1 |I_{m1}| \quad (12)$$

式中  $m_1, m_2, m_0$  分别称为三序电流的权重系数。其具体取值按照如下规则:

1) 考虑到相间故障并无零序电流,为了在相间故障时式(12)同样成立,所以可以降低零序电流的权重,即  $m_0$  可以取较小数值;

2) 为了保护振荡再故障时能可靠地开放保护,  $m_2$  取值应大于  $m_1$ 。

考虑到上述要求,可以将振荡闭锁再开放逻辑定为

$$0.8 |I_{m2}| + 0.2 |I_{m0}| \geq 0.5 |I_{m1}| \quad (13)$$

如果满足式(13),则表明系统发生了故障,需要快速开放保护;如果是对称性故障,则此时没有负

序和零序电流,此时该逻辑失效,但可以采用文献[8-9]提出的功率变化率或者  $U_{\cos\phi}$  的开放方法。

### 3 仿真分析

基于 PSCAD/EMTDC 搭建了如图 1 所示的仿真模型,其中线路正、负序参数为  $z_1 = z_2 = 0.035 + j0.05$  ( $\Omega/\text{km}$ ),零序参数为  $z_0 = 0.036 + j0.132$  ( $\Omega/\text{km}$ )。故障时刻为 0.5 s,故障持续时间为 0.05 s。

#### 3.1 单相接地故障仿真验证

图 5 给出了系统振荡时发生 A 相接地故障时 M 侧保护安装处三序电流幅值变化曲线。通过图 5 (b) 可以看出,此时  $0.8 I_2 + 0.2 I_0 > 0.5 I_1$ ,满足振荡闭锁再开放条件,保护会再次开放,及时清除 A 相接地故障,防止故障的继续扩大。

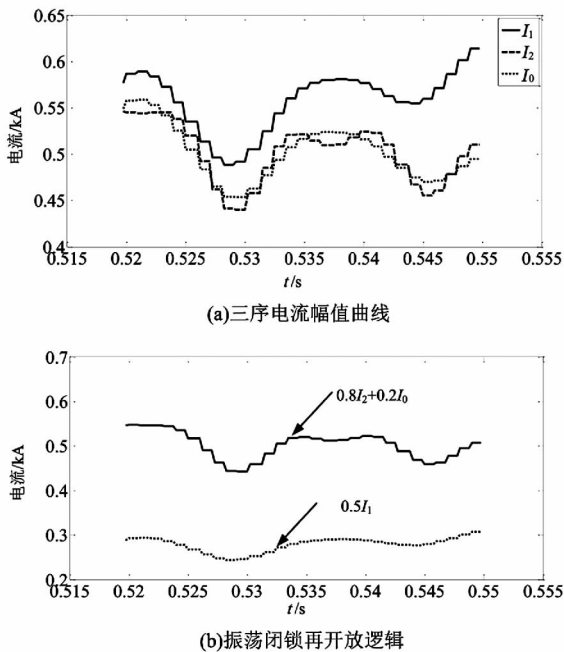


图 5 单相接地故障仿真验证

#### 3.2 两相接地故障仿真验证

图 6 给出了系统振荡时发生 AB 相接地故障时 M 侧保护安装处三序电流幅值变化曲线。通过图 6 (b) 可以看出,此时  $0.8 I_2 + 0.2 I_0 > 0.5 I_1$ ,满足振荡闭锁再开放条件,保护会再次开放,及时清除 AB 相接地故障。

#### 3.3 相间故障仿真验证

图 7 给出了系统振荡时发生 BC 相间故障时 M 侧保护安装处三序电流幅值变化曲线。通过图 7 (a) 可以看出,零序电流为 0;通过图 7 (b) 可以看出,此时  $0.8 I_2 + 0.2 I_0 > 0.5 I_1$ ,满足振荡闭锁再开

放条件,保护会再次开放,及时清除相间故障。

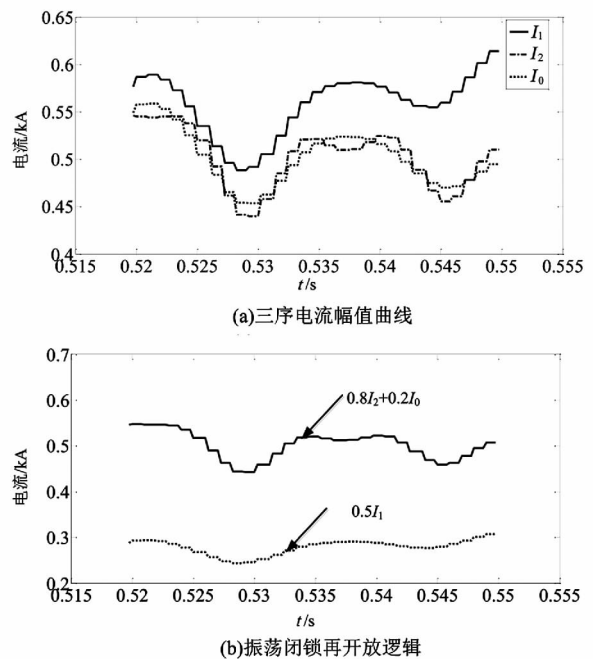


图 6 两相接地故障仿真验证

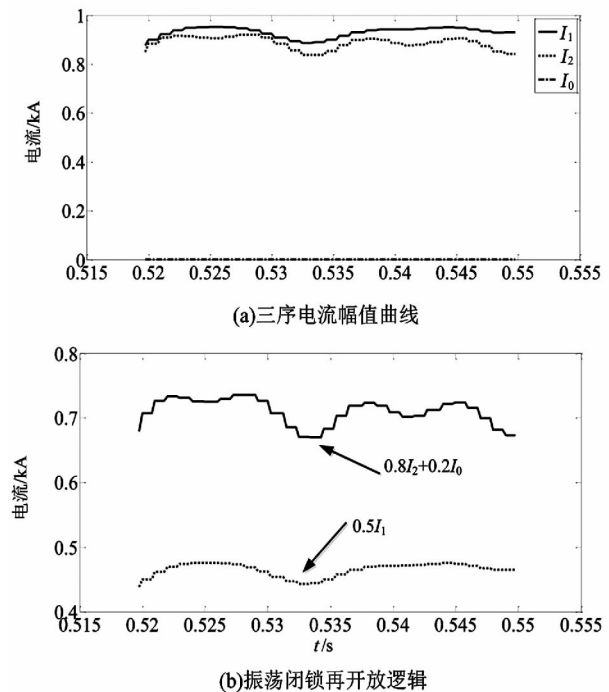


图 7 相间故障仿真验证

通过上面的分析可以看出,对任何的不对称故障,都满足保护再次开放条件,因此新的开放逻辑具有较强的适用性。

## 4 结论

振荡闭锁过程中如再次发生故障,需要及时开放保护并清除故障。详细分析了各种不对称故障形

式下保护安装处三序电流的幅值特性,并赋予了不同的权重系数:负序系统大于正序系数,零序系统最小。新的开放逻辑能使用各种不对称故障,具有较好的工程应用价值。

参考文献

[1] 张保会,张毅刚,刘海涛.基于本地量的振荡解列装置原理研究[J].中国电机工程学报,2001,21(12):67-72.

[2] 刘颖.一种适用于同杆四回线单相接地距离保护的新算法[J].水电能源科学,2014,32(9):195-198.

[3] 闫晓卿.特高压同步电网继电保护关键问题研究[D].北京:华北电力大学,2013.

[4] 张冬,王涛.基于RBF神经网络的超高压继电保护算法研究[J].现代电子技术,2011,34(20):196-199.

[5] 柳焕章,周泽昕,周春霞,等.继电保护振荡闭锁的改进措施[J].中国电机工程学报,2012,32(19):125-133.

(上接第43页)

端换流站距主网电气距离较远、短路比较低,为满足投切无功时的电压波动要求,导致单组容性无功容量限值较低,无功组数较多,增大了换流站场地占用和布置难度。经研究,一方面按枯期小功率、中功率两种运行方式进行电压波动计算,从而以两种不同的单组容量进行容性无功配置;另一方面通过加装同步调相机来提供动态无功支撑、抑制电压波动,进一步增大单组无功规模,从而有效减少了500 kV容性无功和滤波器的组数,大幅节约了换流站占地和投资。在感性无功配置研究方面,不但考虑了正常小方式下系统注入无功以及为了满足直流运行而投入滤波器的剩余容性无功,为增强适应性还进一步校核了直流在较严重的单阀调试运行情况下的感性无功平衡,调相机的进相运行在其中也起到了必要的作用,从而避免了感性无功规模的进一步扩大。通过上述相关系统研究,进一步优化了雅中特高压直流换流站无功配置,增强了工程的适应性和运行可靠性,对于四川、云南、西藏等地区后期新增的水电送端直流换流站,也具有一定的参考意义。

参考文献

[1] 赵峻君.高压直流输电工程技术[M].北京:中国电力

[6] 刘凯,索南加乐.一种新的高压线路保护振荡闭锁实现方法[J].电力自动化设备,2011,31(4):7-12.

[7] 袁兆强,吴强,易传炳.振荡闭锁期间不对称故障的快速识别方法[J].继电器,2007,35(8):6-11.

[8] 张艳霞,刘天绪,王荣琴.基于希尔伯特变换的电力系统振荡中再故障的识别方法[J].中国电机工程学报,2005,25(6):36-41.

[9] 刘志雄,张艳霞,冯康恒,等.基于广域信息跟踪电力系统振荡中心的方法及应用[J].电网技术,2014,38(6):1694-1699.

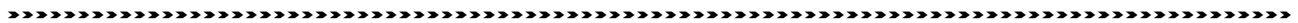
[10] 林湘宁,吴科成,翁汉珩,等.在功率变化交叉闭锁振荡中对称故障的快速识别方法[J].中国电机工程学报,2006,26(16):21-26.

[11] 黄少锋.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2014:98-102.

作者简介:

李鹏程(1988),工程师,主要从事配电维修工作。

(收稿日期:2017-01-08)



出版社,2004.

[2] 曾南超.高压直流输电在我国电网发展中的作用[J].高电压技术,2004,30(11):11-12.

[3] 刘振亚.特高压直流输电技术研究成果专辑(2005年)[M].北京:中国电力出版社,2006.

[4] 伍文城,李新,丁君,等.云广±800 kV直流输电工程输电容量探讨[J].电力设备,2006,7(5):27-30.

[5] 胡浩,王海林,丁婧.四川省阿坝、甘孜两州新增水电送出规划研究[J].四川水力发电,2015,34(1):71-73.

[6] 罗敬华,汪娟娟,梁泽勇,等.溪洛渡同塔双回直流输电工程无功平衡与补偿方案[J].广东电力,2014,27(2):93-98.

[7] 王海林,黎岚,吴安平.向家坝±800 kV特高压换流站容性无功配置研究[J].四川电力技术,2008,31(3):9-11.

[8] 邹欣,蒋维勇,李亚男.±800 kV酒泉—湖南特高压直流工程无功补偿优化配置方案[J].电力设备,2015,36(9):43-49.

作者简介:

丁剑(1974),硕士、高级工程师,从事电力系统规划设计和研究工作。

(收稿日期:2017-01-07)