

# 零序电流横差保护在双回线应用分析

武汉水利电力学院 王 春

**摘要** 快速切除中性点直接接地高压电网中双回线的接地故障,对系统稳定具有重要意义。本文对零序电流横差保护在双回线发生接地故障时的动作行为进行了分析,结果表明,此保护可用于双回线运行作为接地故障的主保护,具有瞬时动作、灵敏度高、整定计算简单等优点。

**关键词** 横差保护 接地故障 双回线

## 1 引言

双回线在电力系统中占有重要地位,快速切除双回线运行时一回线的故障,对于保证电力系统稳定运行有着重要意义。我们知道,在中性点直接接地电网中,接地故障占总故障次数的绝大多数。有资料统计<sup>[1]</sup>,580次220kV线路的故障中,单纯的单相接地故障和两相短路接地故障共为544次,占93.7%。因此接地保护是高压电网中最重要的保护之一。目前对双回线的接地保护,通常采用零序四段式保护,对于瞬时动作的I段保护,一般设为不带方向的不灵敏I段和带方向的灵敏I段,保护的動作电流按躲过双回线运行或单回线运行而另一回线挂检时本线路两侧母线接地故障零序电流和双回线运行当另一回线出口或末端接地且一侧三相完全断开时流过本线路的零序电流,另外尚需考虑非全相运行的影响,这样,保护的整定值就比较大,其优点是无论双回线或单回线运行保护均可满足选择性要求,缺点是I段保护范围较短,就可能出现即使考虑续动也不能瞬时切除所有区内接地故障的情况。我们则选用利用双回线特点构成的零序电流横差保护作双回线的接地主保护,这是因为既设立双回线,那么作为双回线运行时间一般在98%以上。

## 2 零序电流横差保护的接线及整定

零序横差保护的工作原理是反应两回线零序电流之差的大小及方向。加入保护装置是线路的零序电流和母线处的零序电压。

**2.1 起动元件:**为电流继电器,反应两回线的零序电流之差。正常运行及外部接地故障时不动作,只有当任一回线内部接地时起动。

**2.2 零序方向元件:**为零序功率方向继电器,其灵敏角 $\varphi_{1m} = 70^\circ$ (也可采用 $\varphi_{1m} = -110^\circ$ ),反应两回线零序电流之差的方向,用于判别故障线路和非故障线路,用两个零序功率方向继电器反向联接。

**2.3 保护整定:**起动元件的動作电流只需躲过双回线运行时外部接地故障流过电流继电器的

最大不平衡电流和非全相运行时出现的零序电流。

保护只在双回线运行时投入，当任一侧一回线断开时，其操作电源自动断开将那一侧的保护退出运行。

### 3 零序电流横差保护动作分析

#### 3.1 双回线两侧均为接地系统时保护动作分析。

双回线两侧均为接地系统网络见图 1，零序网络如图 2 所示。

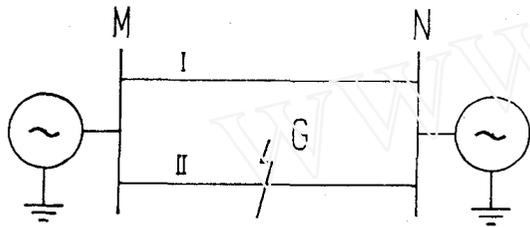


图 1 两侧均为接地系统网络

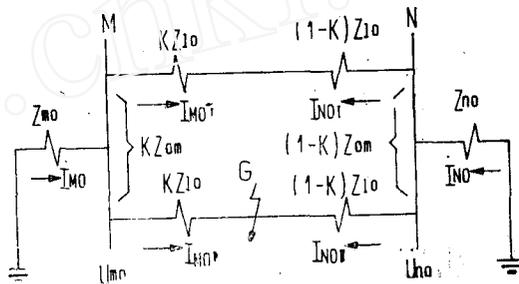


图 2 零序网络

图 2 中， $Z_{m0}$  与  $Z_{n0}$  分别为两侧电源的零序阻抗， $Z_{l0}$  与  $Z_{0m} = 3Z'_{lm}$  分别为线路的零序阻抗与线路间互感阻抗， $Z'_{lm}$  是双回线路间互感每相值。在图中已标示了各侧电流的符号和方向， $K$  是距离比。

则流过 M 侧保护起动元件的电流为

$\dot{I}_{JM} = (3\dot{I}_{M0I} - 3\dot{I}_{M0II}) / n_I$ ，加入 M 侧 I 线方向元件的电压电流分别为：

$$\dot{U}_{JMI} = 3\dot{U}_{m0} / n_Y,$$

$$\dot{I}_{JMI} = -\dot{I}_{JM}$$

加入 M 侧 II 线方向元件的电压电流分别为：

$$\dot{U}_{JMI} = 3\dot{U}_{m0} / n_Y, \quad \dot{I}_{JMI} = \dot{I}_{JM}$$

其中  $n_I$  与  $n_Y$  分别是线路 CT 变比和母线 PT 的变比。

图 2 的零序等值计算网络如图 3 所示。

为求解  $\dot{I}_{M0}$  与  $\dot{I}_{N0}$ ，对图 3 进行了  $\Delta - Y$  变换，见图 4。图 4 中

$$Z_1 = \frac{K}{2} (Z_{l0} - Z_{0m}), \quad Z_2 = \frac{(1-K)}{2} (Z_{l0} - Z_{0m}), \quad Z_3 = \frac{K(1-K)}{2} (Z_{l0} - Z_{0m}).$$

将图 4 进一步化简为图 5。图 5 中  $Z_4 = Z_{m0} + \frac{K}{2} (Z_{l0} + Z_{0m})$ ，

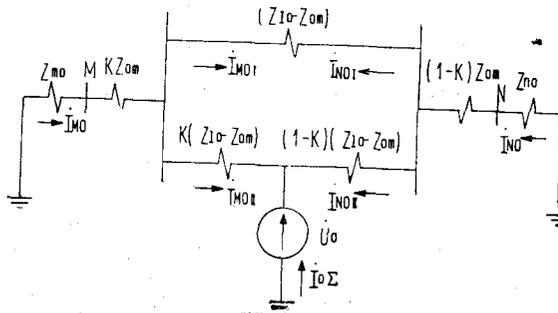


图 3 零序等值计算网络

$Z_1 = Z_{m0} \frac{(1-K)}{2} + Z_{l0} + Z_{o0}$ , 由图5我们可求出M侧电源及N侧电源的零序电流分配系数  $K_{m0}$  及  $K_{n0}$ 。

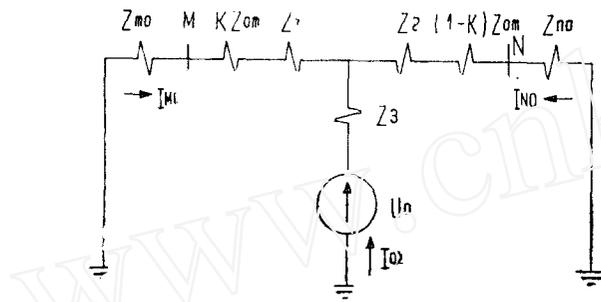


图4 变换后的计算网络

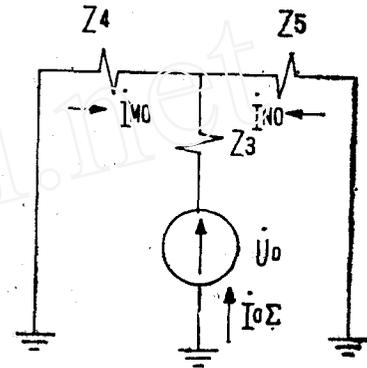


图5 化简后的网络

$$K_{m0} = \frac{-\dot{i}_{M0}}{\dot{i}_{0\Sigma}} = \frac{Z_{n0} + \frac{(1-K)}{2}(Z_{l0} + Z_{o0})}{Z_{m0} + Z_{n0} + \frac{1}{2}(Z_{l0} + Z_{o0})}$$

$$K_{n0} = \frac{-\dot{i}_{NO}}{\dot{i}_{0\Sigma}} = \frac{Z_{m0} + \frac{K}{2}(Z_{l0} + Z_{o0})}{Z_{m0} + Z_{n0} + \frac{1}{2}(Z_{l0} + Z_{o0})}$$

现在我们求流过M侧故障线路II的电流  $\dot{i}_{M0I}$  和非故障线路I的电流  $\dot{i}_{M0I}$ , 由图3和图4得

$$\dot{i}_{M0I} = \frac{\dot{i}_{M0}Z_1 - \dot{i}_{0\Sigma}Z_3}{K(Z_{l0} - Z_{o0})} = \frac{Z_{n0} + (1-K)(Z_{m0} + Z_{n0} + Z_{l0} + Z_{o0})}{2Z_{n0} + (1-K)(Z_{l0} + Z_{o0})} \cdot \dot{i}_{M0}$$

$$\dot{i}_{M0I} = \frac{\dot{i}_{M0}Z_1 - \dot{i}_{NO}Z_2}{(Z_{l0} - Z_{o0})} = \frac{KZ_{n0} - (1-K)Z_{m0}}{2Z_{n0} + (1-K)(Z_{l0} + Z_{o0})} \dot{i}_{M0}$$

令  $\dot{i}_{M0I} = 0$  或  $\dot{i}_{M0I} = \dot{i}_{M0}$ , 有  $KZ_{n0} - (1-K)Z_{m0} = 0$  即

$K_B = \frac{Z_{m0}}{Z_{n0} + Z_{n0}}$ ,  $K_B$  为电平衡点, 在此点故障时, 非故障线路电流  $\dot{i}_{M0I} = 0$ , 而故障

线路电流  $\dot{i}_{M0I} = \dot{i}_{M0}$ 。当  $0 < K < K_B$  时,  $\dot{i}_{M0I}$  与  $\dot{i}_{M0}$  反相(也与  $\dot{i}_{M0I}$  反相); 当  $K_B < K < 1$  时,  $\dot{i}_{M0I}$  与  $\dot{i}_{M0}$  同相(也与  $\dot{i}_{M0I}$  同相)。而  $\dot{i}_{M0I}$  始终与  $\dot{i}_{M0}$  同相。

流过M侧保护起动元件的零序电流为:

$$\dot{i}_{JM} = \frac{(3\dot{i}_{M0I} - 3\dot{i}_{M0I})}{n_1} = \frac{-3(1-K)(2Z_{m0} + 2Z_{n0} + Z_{l0} + Z_{o0})}{2Z_{n0} + (1-K)(Z_{l0} + Z_{o0})} \cdot \frac{\dot{i}_{M0}}{n_1}$$

$\dot{i}_{JM}$  与  $\dot{i}_{M0}$  反相即与  $\dot{i}_{0\Sigma}$  同相。当  $K \approx 0$  (线路出口故障) 时  $|\dot{i}_{JM}| = 3(1 + \frac{2Z_{m0}}{2Z_{n0} + Z_{l0} + Z_{o0}}) \frac{\dot{i}_{M0}}{n_1}$

达到最大, 保护最灵敏, 而当  $K \approx 1$  (线末故障) 时,  $\dot{i}_{JM} \approx 0$ , 保护存在相继动作区。M

侧保护动作情况如下：

$\dot{U}_{JM1} = \dot{U}_{JM1} = 3 \dot{U}_{m0} / n_Y$ ,  $\dot{I}_{JM1} = -\dot{I}_{JM}$  与  $\dot{I}_{M0}$  同相即与  $\dot{I}_{O\Sigma}$  反相, 则  $\dot{I}_{JM1}$  超前  $\dot{U}_{JM1}$  约  $110^\circ$  (设零序阻抗角  $\varphi_{z_0} = 70^\circ$ ), 线路 I 的方向元件不动作, I 线开关不跳闸。而  $\dot{I}_{JM1} = \dot{I}_{JM}$  与  $\dot{I}_{O\Sigma}$  同相, 即  $\dot{I}_{JM1}$  滞后  $\dot{U}_{JM1}$   $70^\circ$ , II 线方向元件动作, 向量图见图 6。所以, 当 II 线发生故障时,  $I_{JM} > I_{dz}$ , 起动元件动作, 而 M 侧 II 线方向元件动作, 使 M 侧 II 线开关跳闸。当故障发生在靠近 N 侧母线的相继动作区内时, 只有等 N 侧保护动作跳开 N 侧 II 线开关后, M 侧保护才会动作, 跳开 M 侧故障线路开关。

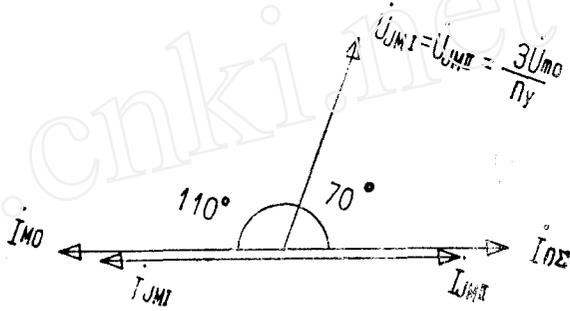


图 6 M 侧方向元件向量图

保护相继动作分析：

当接地故障发生在靠近 N 侧母线 II 线时, (M 侧保护的相继动作区内), 这时, M 侧保护不动。但 N 侧保护灵敏切除 N 侧 II 线开关, 开关跳闸后零序等值计算网络如图 7 所示。 $\dot{I}_{O\Sigma}$ 、 $\dot{I}_{M0}$ 、 $\dot{I}_{N0}$  重新分布, 可以看出  $\dot{I}_{M01}$  与  $\dot{I}_{M0}$  由 N 侧开关断开前的同相 (二次值相减) 变为断开后的反相 (二次值相加), 这样使  $I_{JM}$  大大增加。由图 7 得

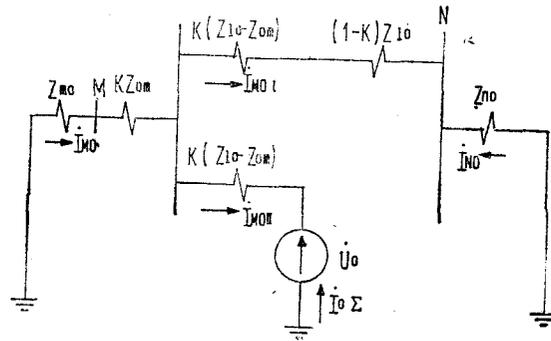


图 7 N 侧 II 线开关断开后零序网络

$$\dot{I}_{M01} = -\dot{I}_{O\Sigma}; \quad \dot{I}_{M01} = \dot{I}_{O\Sigma} \frac{KZ_{0m} + Z_{m0}}{Z_{n0} + Z_{n0} + Z_{10}}$$

$$\dot{I}_{JM} = \dot{I}_{O\Sigma} \left( 1 + \frac{KZ_{0m} + Z_{m0}}{Z_{n0} + Z_{n0} + Z_{10}} \right)$$

$I_{JM} > I_{dz}$ , 使 M 侧起动元件动作。 $\dot{I}_{JM1} = -\dot{I}_{JM}$  与  $\dot{I}_{O\Sigma}$  反向, 所以 I 线方向元件不动作;  $\dot{I}_{JM1} = \dot{I}_{JM}$  与  $\dot{I}_{O\Sigma}$  同向, II 线方向元件动作, 断开 M 侧 II 线开关, 切除故障, 即相继动作切除故障。

同理可分析 N 侧保护动作情况。

### 3.2 N 侧为不接地系统时保护动作分析

N 侧不接地时零序等值计算网络如图 8 所示。由图中可得

$$\dot{I}_{M0} = -\dot{I}_{O\Sigma}, \quad \dot{I}_{M01} = \frac{K}{2} \dot{I}_{M0}, \quad \dot{I}_{M01} = \left( 1 - \frac{K}{2} \right) \dot{I}_{M0}。$$

M 侧保护动作分析



$\dot{i}_{IM}$ 与 $\dot{i}_{O\Sigma}$ 同相,同前面分析, M侧 I 线方向元件不动作, II 线方向元件动作跳开 M 侧 II 线开关。

b. 当故障发生在 N 侧保护相继动作区(靠近 M 侧母线)时, M 侧保护将故障线路 II 开关断开后零序网络如图 10 所示。可得

$$\dot{i}_{NOI} = -\dot{i}_{NOI} = \dot{i}_{O\Sigma}, \dot{i}_{IN} = \frac{6\dot{i}_{O\Sigma}}{n_1},$$

$\dot{i}_{IN}$ 与 $\dot{i}_{O\Sigma}$ 同相,所以 N 侧 II 线方向元件动作,跳开 N 侧 II 线开关,即相继动作切除故障。

## 4 结 论

4.1 零序横差保护在双回线运行时发生一回接地故障时,可有选择性地切除故障线路,对于相继动作区内的故障,保护也能正确反应。

4.2 本保护的起动元件只按躲过双回线外部接地故障时流过差动回路的最大不平衡电流整定,动作值小,灵敏度高。考虑相继动作可瞬时切除全部区内故障,对系统稳定十分有利,且整定计算简单,保护也易于实现。

4.3 可避免内部接地故障时,由于非故障线路的功率倒向引起普通零序电流保护的方向元件不正确动作。

4.4 零序横差保护不足是不能作单回线运行时保护,需另设。但考虑到投资不大,接线简单,则此保护作双回线接地主保护是适宜的。

### 参 考 文 献

- [1] 王梅义等. 高压电网继电保护运行技术. 电力工业出版社, 1981, 6.
- [2] 山东工学院. 电力系统继电保护. 电力工业出版社, 1981, 6.
- [3] 南京工学院. 电力系统. 电力工业出版社, 1980, 8.

### 更正:

1992年第 1 期 50 页图 4 与 51 页图 6, 两个图样互调位置为正确, 特此更正。