

「电网」

同杆双回线路零序互感对测量阻抗平衡点的影响

文/惠州供电局 肖伟强

随着电网发展及线路走廊用地的紧张，线路同杆并架变得普遍。纵联距离保护作为220 kV输电线路主保护，其距离测量元件在故障位置判断中起着关键的作用。当发生接地故障时，因零序互感的存在，继电保护不能准确判断故障位置，甚至可能发生误判而致误动。基于典型同杆双回线路模型，具体分析220 kV同杆双回线路零序互感对接地测量阻抗平衡点的影响。

在同杆并架线路发生故障时，由于零序互感的存在，接地测量阻抗、相间测量阻抗等保护测量值将受到全面的影响，从而使得保护的选择性与灵敏性受到影响。220 kV输电线路保护装置中故障距离是由母线电压与线路电流计算而来的，通过测量阻抗表征。通过典型同杆双回线路的一般模型，在不同线路运行方式下，具体分析零序互感对接地测量阻抗平衡点的影响，并进一步对影响的特征和程度进行深入的研究。

同杆双回线路系统模型及测量阻抗计算

与非同杆并架线路不同之处在于，同杆并架线路间存在零序互感，因而发生接地故障时，接地距离保护测量元件将受互感的影响并发生误差。零序互感对接地距离测量阻抗的影响，与零序互感值、故障位置和电网运行方式等因素息息相关。同杆双回输电线路系统模型如图1所示。

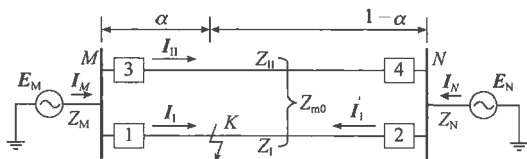


图1 同杆双回输电线路系统模型

图1中，回路I与回路II之间因电磁耦合存在零序互感 Z_{m0} ，两回线路阻抗相等即 $Z_I = Z_{II}$ ；金属性接地短路故障发生于I回路A相K处，I、II回线路的零序阻抗、零序互阻抗分别为 Z_{I0} 、 Z_{II0} 、 Z_{m0} ，且假设 $Z_{I0} = Z_{II0}$ 。母线侧M离故障点K的距离占线路总长比例为 α ，母线N侧离故障点K的距离占线路总长比例为 $(1-\alpha)$ 。零序自感复补偿系数

$$K_s = (Z_{I0} - Z_{II}) / 3Z_{II}$$

零序互感复补偿系数

$$K_M = Z_{m0} / 3Z_{II}$$

在高压线路中，线路正负序电流相等即

$$I_{I1} = I_{I2}$$

$$3K_s \approx 1$$

采用对称分量法对同杆双回输电线路系统进行分析，可得母线M侧A相电压为

$$U_{IA} = \alpha Z_{II} (I_{IA} + 3K_s I_{I0} + 3K_M I_{II0})$$

由此可得I线路M侧距离保护的测量阻抗为

$$\begin{aligned} Z_{DMA} &= \frac{U_{IA}}{I_{IA} + 3K_s I_{I0}} \\ &= \alpha Z_{II} \left(1 + \frac{3K_M I_{II0}}{I_{IA} + 3K_s I_{I0}} \right) \end{aligned}$$

上式中右半部分为保护测量阻抗误差项，即

$$\begin{aligned}\Delta Z_{\text{IMA}} &= \frac{3K_M I_{\text{I}0}}{I_{\text{IA}} + 3K_S I_{\text{I}0}} \\ &= \frac{3K_M I_{\text{I}0}}{2I_{\text{I}1} + (1+3K_S)I_{\text{I}0}} \\ &= \frac{3K_M I_{\text{I}0}}{2(C_{\text{I}1} + C_{\text{I}0})}\end{aligned}$$

式中, $C_{\text{I}0} = I_{\text{I}0}/I_{\text{k}0}$, $C_{\text{I}10} = I_{\text{I}10}/I_{\text{k}0}$, $C_{\text{I}1} = C_{\text{I}2} = I_{\text{I}0}/I_{\text{k}0}$ 为故障线路正、负、零序相对于接地故障电流的分布系数。据上式可知, 继电保护的测量阻抗误差项受零序互感耦合系数 K_M 接地故障电流的分布系数影响。

1. 两侧强电源双回线并列运行

依据图1系统模型可得相应零、正、负序等值网络, 零序网络如图2所示。

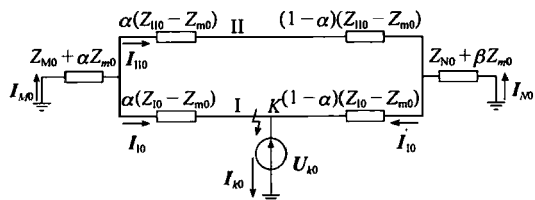


图2 单相接地故障时零序等值网络

进行相应电气公式转换及 Δ -Y 变换关系可求得保护测量阻抗误差项

$$\begin{aligned}\Delta Z_{\text{IMA}} &= -\frac{3K_M}{2} \cdot \\ &\frac{(1-\alpha) - \frac{2Z_{\text{N}0} + (1-\alpha)(Z_{\text{I}0} + Z_{\text{m}0})}{2(Z_{\text{M}0} + Z_{\text{N}0}) + (Z_{\text{I}0} + Z_{\text{m}0})}}{2(1-\alpha) + \frac{2Z_{\text{N}1} + (1-\alpha)Z_{\text{I}1}}{2(Z_{\text{M}1} + Z_{\text{N}1}) + Z_{\text{I}1}} + \frac{2Z_{\text{N}0} + (1-\alpha)(Z_{\text{I}0} + Z_{\text{m}0})}{2(Z_{\text{M}0} + Z_{\text{N}0}) + (Z_{\text{I}0} + Z_{\text{m}0})}}\end{aligned}$$

2. 双回线路一侧分裂运行

双回线一侧分裂时系统模型及其零序等效电路如图3所示。

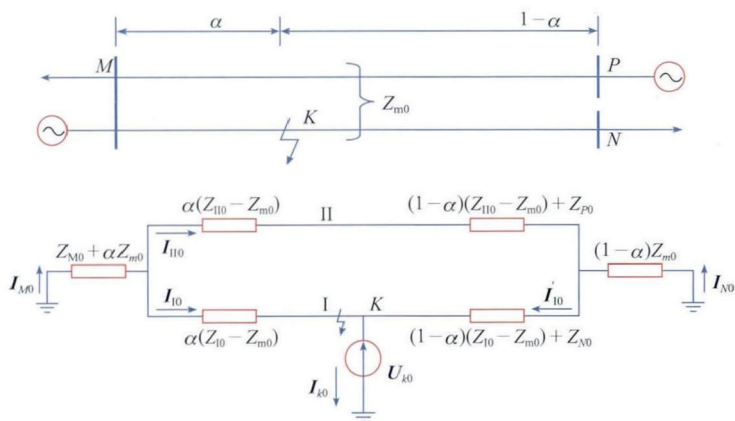


图3 双回线一侧分裂时系统模型及其零序等效电路

假设 N 侧母线系统运行方式发生变化, 造成 N 侧分列运行, 根据这种情况计算可得

$$\begin{aligned}\Delta Z_{\text{IMA}} &= -3K_M \cdot \\ &\frac{\frac{2Z_{\text{N}0} + (1-\alpha)(Z_{\text{I}0} - Z_{\text{m}0})}{Z_{\text{P}0} + Z_{\text{N}0} + 2(Z_{\text{I}0} - Z_{\text{m}0})}}{\frac{2[Z_{\text{N}1} + (1-\alpha)Z_{\text{I}1}]}{[(Z_{\text{I}1} + Z_{\text{P}1})/Z_{\text{M}1}] + Z_{\text{N}1} + 2Z_{\text{I}1}} + 3 \frac{Z_{\text{N}0} + (1-\alpha)(Z_{\text{I}0} - Z_{\text{m}0})}{Z_{\text{P}0} + Z_{\text{N}0} + 2(Z_{\text{I}0} - Z_{\text{m}0})}}\end{aligned}$$

零序互感对测量阻抗平衡点的影响

距离保护的测量阻抗误差项 ΔZ_{IMA} 因故障点位置的不同而发生变化, 据分析, 总能在线路上找到一个点 $\alpha = \alpha_0$, 使得测量阻抗误差项为零, 即该点发生故障时, 保护测量阻抗不受零序互感影响, 能正确反映故障点的位置, 将此点称之为“平衡点”。双回线并列运行、一侧分裂运行时平衡点位置不同, 如下表所示。

表1 平衡点位置

运行方式	两侧并列	一侧分裂
α_0	$\frac{Z_{\text{M}0}}{Z_{\text{M}0} + Z_{\text{N}0}}$	$1 - \frac{Z_{\text{P}0}}{Z_{\text{m}0} - Z_{\text{I}0}}$

结束语

通过分析同杆双回线路并列运行、一侧分裂运行时等两种不同运行方式下, 线路发生单相金属性接地故障时对测量阻抗平衡点的影响, 得出以下结论。

1) 双回线路并列运行时, 平衡点位置与两侧电源的强弱有关, 当线路两均为强电源时, 平衡点位于线路总长的50%附近, 随着两侧电源强弱转换, 平衡点将发生位移, 并逐渐向弱电源一侧移动, 当 N 侧为纯负荷时 $Z_{\text{N}0} \approx 0$, 可通过计算得 $\alpha_0 = 1$, 平衡点位于 N 侧母线处。

2) 双回线路一侧分裂运行时, 仅在 $0 < Z_{\text{P}0}/(Z_{\text{m}0} - Z_{\text{I}0}) < 1$ 时线路方存在平衡点。当非故障线路 P 侧弱馈时, $Z_{\text{P}0}$ 较大, 电源 M 侧等值阻抗将对平衡点的位置造成影响; 反之, 当两侧均为强电源时, 平衡点随着 $Z_{\text{P}0}$ 的增大而逐渐靠近 M 侧, 同时随着 $(Z_{\text{m}0} - Z_{\text{I}0})$ 的增大而逐渐靠近 N 侧。EA

(收稿日期: 2016.05.30)

(编辑: 刘群彦)