

同塔双回线接地距离保护零序电流补偿系数分析及整定方法改进

姜宪国¹, 刘宇², 周泽昕¹, 杜丁香¹, 李仲青¹

(1. 中国电力科学研究院 电网安全与节能国家重点实验室, 北京 100192;

2. 国家电力调度通信中心, 北京 100031)

摘要: 比较了 4 种典型运行方式下双回线零序补偿系数 K 的大小, 分析了目前单、双 K 值整定方法的特性。分析发现: 单 K 值整定中, 当整定阻抗达到一定值时, 可能导致保护误动和拒动; 双 K 值整定针对不同段保护采用不同 K 值, 理论上更为合理。现行双 K 值整定方法中, 接地距离保护 I 段采用的 K 值并非为各种运行方式下的最小 K 值, 在双回线一端母线解列时存在误动风险, 对此提出采用一回线检修运行方式下的 K 值和一回线解列运行方式下的最小 K 值的加权平均值作为接地距离 I 段零序补偿系数。仿真结果表明, 改进的双 K 值整定方法性能优于传统单、双 K 值整定方法, 能够兼顾接地距离保护 I 段的可靠性和接地距离保护 II 段的灵敏度。

关键词: 同塔双回线; 继电保护; 接地距离保护; 运行方式; 零序电流补偿系数; 整定; 可靠性; 灵敏度

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.08.002

0 引言

同塔双回线路^[1-2]共用杆塔, 能够充分利用有限的输电走廊资源, 减少占地面积, 并且具有建设速度快、输电能力强等优势, 因此在实际工程中得到了广泛的应用。然而受双回线零序互感^[3-6]的影响, 线路接地距离保护存在误动或拒动的风险, 威胁系统安全。

针对零序互感问题, 一种解决方法^[7-8]是引入邻线的零序电流进行补偿。但由于双回线运行方式多变, 常常会使补偿后的实际效果适得其反^[9], 难以达到理想的保护性能, 且引入邻线信息会增加保护配置复杂度。另一种方法^[10-11]是根据系统运行方式实时切换零序补偿系数(K 值), 使继电器尽可能准确地反应故障阻抗。但该方案涉及定值自动切换, 影响保护可靠性, 目前现场仍无法接受。实际中, 接地距离保护均采用固定 K 值进行计算, 具体分为单 K 值整定和双 K 值整定 2 种策略。

本文首先比较同塔双回线 4 种典型系统运行方式下零序补偿系数的大小关系, 并对现有单/双 K 值整定方法存在的问题进行了分析, 分析结果表明双 K 值整定的性能优于单 K 值整定。进一步针对目前双 K 值整定策略提出改进方法, 用于提高保护可靠性。最后通过 PSCAD 仿真验证所提方法的有效性。

1 同塔双回线零序补偿系数

1.1 双回线零序补偿系数表达式^[10]

如图 1 所示, 双回线一回发生接地故障时, 考虑另一回对其产生的零序互感, 则故障线路保护安装处

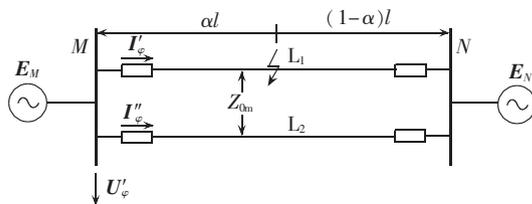


图 1 同塔双回线示意图

Fig.1 Schematic diagram of dual-loop lines on same tower

电压为:

$$U_0' = \alpha(I_1'Z_1 + I_2'Z_2 + I_0'Z_0 + I_0''Z_{0m}) = \alpha I_0'Z_1 + \alpha \left(Z_0 - Z_1 + \frac{I_0''}{I_0'} Z_{0m} \right) I_0' \quad (1)$$

其中, I_0' 为线路 L_1 故障相的电流; I_1' 、 I_2' 、 I_0' 分别为线路 L_1 的正、负、零序电流; I_0'' 为线路 L_2 的零序电流; α 为线路故障点与首端距离占线路全长的百分比; Z_1 、 Z_2 、 Z_0 分别为单回线路的正、负、零序阻抗; Z_{0m} 为双回线零序互感阻抗。

从而得到接地阻抗继电器的测量阻抗为:

$$\alpha Z_1 = \frac{U_0'}{I_0' + 3 \frac{Z_0 - Z_1 + \frac{I_0''}{I_0'} Z_{0m}}{3Z_1} I_0'} \quad (2)$$

借鉴单回线零序补偿系数的构成形式, 定义双回线零序补偿系数的表达式为:

$$K = \frac{Z_0 - Z_1 + \frac{I_0''}{I_0'} Z_{0m}}{3Z_1} \quad (3)$$

由式(3)可见, 双回线零序补偿系数不仅与各回线自身参数有关, 还与线间零序互感阻抗以及流过的零序电流有关。

1.2 4 种典型运行方式下的零序补偿系数

此处列举双回线可能出现的 4 种典型的运行方式,分析中近似认为双回线的 Z_1 、 Z_0 和 Z_{0m} 相位相同,着重比较不同运行方式下 K 值的大小关系。

a. 双回线同时运行。

双回线同时运行且一端母线发生接地故障(见图 2)时,此时存在:

$$I_0'' = I_0' \quad (4)$$

可得:

$$K_1 = \frac{Z_0 - Z_1 + Z_{0m}}{3Z_1} \quad (5)$$

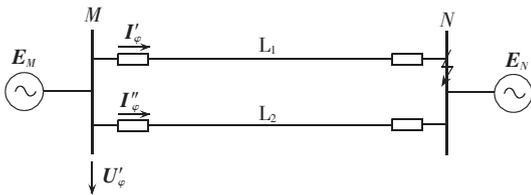


图 2 双回线同时运行

Fig.2 Both loops are operating

b. 一回线停运(两端不接地)。

如图 3 所示,当一回线停运时,零序互感系数与无互感的单回线路相同,表示为 K_2 :

$$K_2 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \quad (6)$$

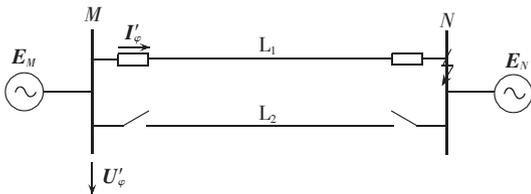


图 3 双回线一回停运

Fig.3 One loop is in outage

显然,此时的 K_2 小于双回线同时运行的零序互感系数 K_1 。

c. 一回线检修(两端接地)。

当一回线检修而运行线一端母线发生接地故障(见图 4)时,检修线路的电压平衡方程为:

$$I_0' Z_0 + I_0'' Z_{0m} = 0 \quad (7)$$

从而可得:

$$\frac{I_0''}{I_0'} = -\frac{Z_{0m}}{Z_0} \quad (8)$$

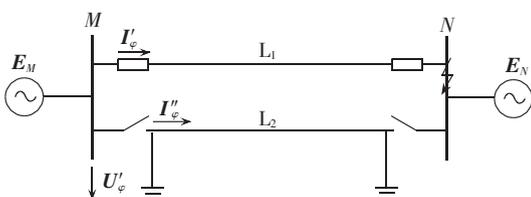


图 4 双回线一回检修

Fig.4 One loop is in maintenance

结合式(3)、(8)可得运行线路的零序补偿系数为:

$$K_3 = \frac{Z_0 - Z_1 - Z_{0m}^2 / Z_0}{3Z_1} \quad (9)$$

可见该系数小于一回线停运时的零序补偿系数 K_2 。

d. 一端母线解列运行。

双回线一端母线解列运行且解列端出口发生接地故障的示意图如图 5 所示。为简化分析,仅考虑线路 L_2 与 L_1 零序电流反向的情况,则线路 L_1 零序补偿系数可表示为:

$$K_4 = \frac{Z_0 - Z_1 - \left| \frac{I_0''}{I_0'} \right| Z_{0m}}{3Z_1} \quad (10)$$

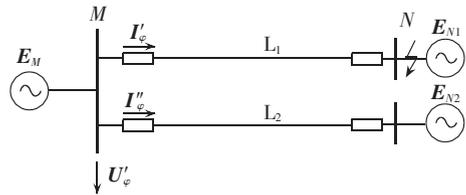


图 5 双回线一端解列

Fig.5 One terminal of dual-loop lines is disconnected

由式(10)可见, K_4 的大小受线路 L_2 零序电流与 L_1 零序电流比值的影响,若该比值小于 Z_{0m}/Z_0 ,则 $K_4 < K_3$,反之则 $K_3 < K_4$ 。

综上所述,4 种典型的运行方式对应故障线路的 4 个不同 K 值,其大小关系如下:

$$\begin{cases} K_1 > K_2 > K_4 > K_3 & \left| \frac{I_0''}{I_0'} \right| < \left| \frac{Z_{0m}}{Z_0} \right| \\ K_1 > K_2 > K_3 > K_4 & \left| \frac{I_0''}{I_0'} \right| > \left| \frac{Z_{0m}}{Z_0} \right| \end{cases} \quad (11)$$

其中, $\left| \frac{I_0''}{I_0'} \right|$ 与 $\left| \frac{Z_{0m}}{Z_0} \right|$ 均在 $(0,1)$ 范围内。

2 距离保护采用单 K 值存在的问题

由上文可知,同塔双回线路在不同运行方式下具有不同的零序补偿系数。因此,接地距离保护^[13-16]除需要整定阻抗 Z_{set} 外,还需要整定合理的零序补偿系数 K 。

对于距离 I 段,为保证本线路末端故障不误动,在 4 种运行方式对应的不同 K 值之间,应采用最小的 K 值。对于距离 II 段,由于要求在距离末端故障时具有足够灵敏度,因此在不同的 K 值之间应该选用最大 K 值进行计算。

2.1 单 K 值整定方法

目前部分双回线距离保护中采用了单 K 值整定方法,即距离 I、II 段采用同一个 K 值。其中典型的整定原则如下。

a. 接地距离 I 段的零序补偿系数按双回线一回检修时的 K_3 值进行计算, I 段的可靠系数 K_{rel}^I 取正常

值 0.7。

b. 接地距离保护 II 段的零序补偿系数同样取 K_3 , 而其可靠系数则在原基础 ($K_{\text{rel}}=1.3$) 上乘以修正系数 K_x^{II} 。

$$K_x^{\text{II}} = \frac{1+K_1}{1+K_3} \quad (12)$$

其中, K_1 为双回线同时运行时的零序补偿系数。

理论上距离 II 段应选取最大值 K_1 进行计算, 而在单 K 值的整定原则中距离保护 I、II 段均采用了 K_3 进行计算。为了保证距离 II 段应有的灵敏度, 于是对其可靠系数乘以修正系数 K_x^{II} , 以弥补单 K 值造成的影响。

2.2 单 K 值特性的定性分析

目前整定方法采用的小 K 值为一回线检修时对应的零序补偿系数 K_3 , 而由前文分析可知, K_3 并非在所有运行方式中均为最小的 K 值, 这一问题将在后文中具体分析, 本节分析单 K 值本身的特性。

单 K 值的整定方法相当于将原本零序补偿系数的问题转嫁给了整定阻抗, 如果转嫁后仍能满足保护性能要求, 这样处理亦无可, 但若无法满足, 则可能引起保护不正确动作, 以下进行具体分析。

当双回线同时运行且一端母线发生接地故障 (见图 2) 时, 为便于比较, 将修正系数 K_x^{II} , 由整定阻抗中折算到测量阻抗中, 则距离 II 段的测量阻抗和整定阻抗分别为:

$$\begin{cases} Z_m^{\text{II}} = \frac{U'_\varphi}{I'_\varphi + 3K_3 I'_0} \frac{1+K_3}{1+K_1} \\ Z_{\text{set}}^{\text{II}} = K_{\text{rel}}^{\text{II}} Z_1 \end{cases} \quad (13)$$

而此时实际的零序补偿系数为 K_1 , 因而有:

$$\frac{U'_\varphi}{I'_\varphi + 3K_1 I'_0} = Z_1 \quad (14)$$

结合式 (14) 和式 (15) 可知, 若欲使距离 II 段的测量阻抗 (折算后) 等于实际短路阻抗, 则需要满足条件:

$$I'_\varphi = 3I'_0 \quad (15)$$

而式 (15) 的等式关系受负荷电流和各序电流分配系数的影响, 通常无法满足, 由此会对保护性能造成影响。

2.3 单 K 值特性的定量分析

为进一步分析单 K 值整定的保护性能, 以图 2 为例, 考虑较严重情况, 假设 M 端系统正序阻抗 $Z_{M\text{S1}}$ 很大而零序阻抗 $Z_{M\text{S0}}$ 很小, N 端系统正序阻抗 $Z_{N\text{S1}}$ 很小而零序阻抗 $Z_{N\text{S0}}$ 很大, 且故障前负荷电流为 0, 这时若 N 端母线发生接地故障, 即存在 $I'_\varphi = I'_0$ 。近似认为 $Z_0 = 3Z_1$, 针对不同的零序互感阻抗 (通常为零序自阻抗的 20%~80%), 计算线路 L_1 的 M 端保护接地距离 II 段测量阻抗与整定阻抗的比值, 结果如表 1 所示, 表中粗体表示保护会不正确动作, 后同。

表 1 不同零序互感阻抗下的接地距离保护 II 段测量阻抗

Table 1 Measured impedance of grounding distance protection zone-II for different zero-sequence mutual inductances

Z_{0m}/Z_0	K_1	K_3	$Z_m^{\text{II}}/Z_{\text{set}}^{\text{II}}$
0.2	0.87	0.63	0.84
0.4	1.07	0.51	0.93
0.6	1.27	0.31	1.11
0.8	1.47	0.03	1.60

由表 1 可见, 在给定运行方式下, 采用单 K 值整定后距离 II 段灵敏度会随着双回线零序互感阻抗的增加而显著降低。当零序互感阻抗达到一定值时, II 段保护发生拒动。

单 K 值另一种整定方法是距离 I、II 段均采用 K_1 进行计算, 并对距离 I 段整定阻抗乘以修正系数 K_x^{I} :

$$K_x^{\text{I}} = \frac{1+K_3}{1+K_1} \quad (16)$$

当实际运行方式为一回线检修 (见图 4) 时, 为便于比较, 将修正系数 K_x^{I} 由整定阻抗中折算到测量阻抗中, 则距离 I 段的测量阻抗和整定阻抗分别为:

$$\begin{cases} Z_m^{\text{I}} = \frac{U'_\varphi}{I'_\varphi + 3K_1 I'_0} \frac{1+K_1}{1+K_3} \\ Z_{\text{set}}^{\text{I}} = K_{\text{rel}}^{\text{I}} Z_1 \end{cases} \quad (17)$$

而此时实际的零序补偿系数为 K_3 , 因而有:

$$\frac{U'_\varphi}{I'_\varphi + 3K_3 I'_0} = Z_1 \quad (18)$$

仍按前述的运行方式计算距离 I 段测量阻抗与整定阻抗的比值, 结果如表 2 所示。

表 2 不同零序互感阻抗下的接地距离保护 I 段测量阻抗

Table 2 Measured impedance of grounding distance protection zone-I for different zero-sequence mutual inductances

Z_{0m}/Z_0	K_1	K_3	$Z_m^{\text{I}}/Z_{\text{set}}^{\text{I}}$
0.2	0.87	0.63	1.72
0.4	1.07	0.51	1.52
0.6	1.27	0.31	1.18
0.8	1.47	0.03	0.72

由表 2 可见, 当实际运行方式为一回接地检修, 且故障电流中相电流与零序电流不符合 3 倍关系时, 随着双回线零序互感阻抗的增加, 距离 I 段的可靠性即降低, 当零序互感阻抗达到一定值时, 保护即发生误动。

综上所述, 单 K 值整定方法将原本零序补偿系数的问题转嫁给了整定阻抗, 而在较严重的系统工况下, 这种转嫁存在导致保护拒动和误动的可能性。

3 距离保护双 K 值整定方法的改进

现行保护装置中还有一种双 K 值的整定方法。

其整定原则为:距离 I 段采用一回线检修接地对应的 K_3 值,可靠系数取 0.7;距离 II 段采用双回线同时运行对应的 K_1 值,可靠系数取 1.3。该整定方法分别采用不同的 K 值以兼顾距离 I、II 段保护的性能需求,因此较单 K 值更具有合理性。

3.1 传统双 K 值整定的问题

距离 I 段要求在各种运行方式下线路末端故障不误动,理论上其 K 值应整定为所有运行方式中最小的 K 值。然而现行双 K 值整定中,距离 I 段采用 K_3 值进行计算,由式(11)可知,当一端母线解列运行时,存在 $K_4 < K_3$ 的情况。此时距离 I 段如仍用 K_3 计算测量阻抗,则可能会导致可靠性下降甚至保护误动。

为明确 K_3 与 K_4 差异带来的影响,在图 5 所示网络中,假设正常时负荷电流为 0,考虑较严重情况,设 M 端系统及 N_2 端系统正序阻抗较大,而 N_1 端系统正序阻抗较小,则在 N_1 端出口发生故障时,线路 L_1 和 L_2 中仅有零序电流流过。同时由于高压线路两端系统通常都有零序回路, M 端系统总会存在零序分流,因此设置 $\left| \frac{I_0''}{I_0} \right|$ 在 $[0.1, 0.9]$ 之间进行考察。则在不同零序互感阻抗以及不同零序电流比时,距离 I 段测量阻抗计算结果如图 6 所示。

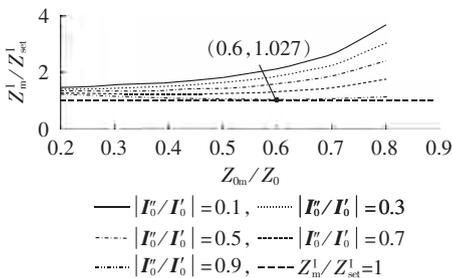


图 6 采用传统双 K 值整定方法时接地距离保护 I 段动作情况

Fig.6 Performance of grounding distance protection zone-I when traditional dual-K setting is adopted

由图 6 可见,随着线路 L_2 零序分流越大,距离 I 段测量阻抗越趋近于整定阻抗。当 $\left| \frac{I_0''}{I_0} \right| = 0.9$ 且 $\left| \frac{Z_{0m}}{Z_0} \right| = 0.6$ 时,测量阻抗基本等于整定阻抗,保护很可能会发生误动。

3.2 双 K 值整定方法的改进

传统双 K 值的距离 I 段之所以有误动风险,是由于其整定所采用的 K 值,并非各种系统运行方式下故障线路可能出现的最小 K 值。从理论上,对于图 5 所示运行方式,当线路 L_2 零序电流与线路 L_1 幅值完全相同、方向相反时, K_4 取到最小值为:

$$K_{4,\min} = \frac{Z_0 - Z_1 - Z_{0m}}{3Z_1} \quad (19)$$

由于同塔双回线 Z_{0m} 总小于 Z_0 , 因此 $K_{4,\min}$ 总小

于 K_3 , 即为各种运行方式下故障线路可能出现的最小零序补偿系数。若仅考虑保护可靠性, 可将距离 I 段的零序补偿系数直接整定为 $K_{4,\min}$, 能够保证 I 段在任何运行方式下均不会误动。

但如前文所述, 通常情况下 M 端系统总会有零序分流, 因此 K_4 不可能取到最小值 $K_{4,\min}$ 。且根据保护四性的要求, 在距离 I 段可靠性得以保证的前提下, 应尽可能提高其灵敏性, 零序互感系数若整定得太小, 会使 I 段保护范围大幅缩小。

鉴于以上原因, 对双 K 值方法中距离 I 段零序补偿系数的整定作如下改进, 即取值 K_3 和 $K_{4,\min}$ 值的加权平均数 K_5 :

$$K_5 = 0.5K_3 + 0.5K_{4,\min} \quad (20)$$

显然 K_5 值介于 K_3 和 $K_{4,\min}$ 之间, 仍按图 6 对应的系统运行方式分析由 K_5 值整定的距离 I 段动作情况, 结果如图 7 所示。

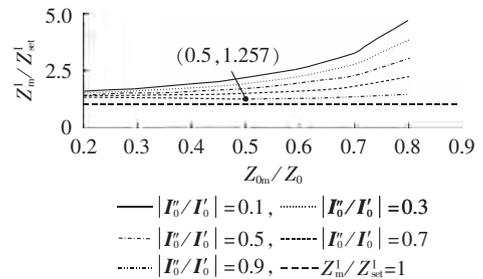


图 7 采用改进双 K 值整定方法时接地距离保护 I 段动作情况

Fig.7 Performance of grounding distance protection zone-I when improved dual-K setting is adopted

由图 7 可见, 采用 K_5 值进行计算后, 距离 I 段在线路末端故障时可靠性明显提高, 各种情况下的最小可靠系数亦达到 1.257, 有效防止了保护误动的可能性。

综上所述, 对同塔双回线双 K 值方法改进后的接地距离保护整定原则为:

- 距离 I 段零序补偿系数采用 K_5 值进行计算, 其可靠系数选为 0.7;
- 距离 II 段零序补偿系数采用 K_1 值进行计算, 其可靠系数选为 1.3。

采用如上方法整定后, 既能避免距离 I 段超越误动, 又能保证距离 II 段对线路末端故障有足够灵敏度, 特性良好。

4 仿真实验

利用 PSCAD 搭建仿真系统如图 1 所示, 双回线线路参数为: 线路长度 $l = 200$ km; 单回线参数, $Z_1 = 0.01 + j0.267 \Omega/\text{km}$, $X_{C1} = -j0.233 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$, $Z_0 = 0.18 + j1.107 \Omega/\text{km}$, $X_{C0} = -j0.648 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$; 双回线互感参数, $Z_{0m} = 0.18 + j0.704 \Omega/\text{km}$ 。 M 端系统参数, $E_M' =$

500 $\angle 0^\circ$ kV, $Z_{MS1} = 70.3 \angle 80^\circ \Omega$; $Z_{MS0} = 80.5 \angle 80^\circ \Omega$;
 N 端系统参数, $E'_N = 525 \angle 30^\circ$ kV, $Z_{NS1} = 15.2 \angle 80^\circ \Omega$,
 $Z_{NS0} = 800 \angle 80^\circ \Omega$ 。杆塔结构如图 8 所示。

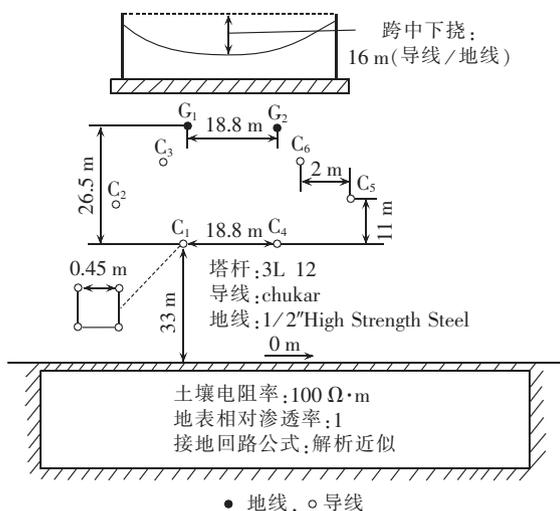


图 8 双回线杆塔结构

Fig.8 Structure of tower of dual-loop lines

仿真故障类型包括:(1)双回线同时运行, N 端出口发生单相接地故障(见图 2);(2)线路 L_2 停运,线路 L_1 N 端出口发生接地故障(见图 3);(3)线路 L_2 挂地线检修,线路 L_1 的 N 端出口发生单线接地故障(见图 4);(4)双回线 N 端解列运行(见图 5), M 端系统电动势参数不变,阻抗参数变化为 $Z_{MS1} = 703 \angle 80^\circ \Omega$, $Z_{MS0} = 805 \angle 80^\circ \Omega$, N_1 端系统参数与原 N 端参数相同, N_2 端系统电动势和正序阻抗与原 N 端参数相同,零序阻抗变为 $Z_{NS0} = 80 \angle 80^\circ \Omega$,此时 N_1 端出口发生单相接地故障。在以上故障类型下,计算相量 $\frac{Z_m - Z_{set}}{Z_m}$ 的相角(保护动作判据为 $90^\circ < \arg\left(\frac{Z_m - Z_{set}}{Z_m}\right) < 270^\circ$,其中, Z_m 为阻抗继电器的测量阻抗)。故障发生在 0 时刻,仿真时长 0.5 s,测量数据取自 0.5 s 时刻。

针对仿真内容对应的 4 种不同运行方式,得到不同的零序补偿系数,结果如表 3 所示。

表 3 不同运行方式下的实际零序补偿系数
 Table 3 Actual zero-sequence compensation coefficient for different operating modes

运行方式	实际 K 值
方式 a	1.94-j0.34
方式 b	1.05-j0.15
方式 c	0.50+j0.04
方式 d	0.30+j0.02

由表 3 可见,不同运行方式下对应的零序补偿系数具有很大差异,为避免保护拒动和误动,应为距离 I、II 段设置合理的 K 值进行计算。

根据 4 种故障类型,表 4 进一步列出了单 K_1 值、单 K_3 值、传统双 K 值以及改进双 K 值 4 种整定方法

表 4 不同故障类型下接地距离保护的動作情况

Table 4 Performance of grounding distance protection for different fault types

故障类型	单 K_1 值整定		单 K_3 值整定	
	I 段	II 段	I 段	II 段
类型(1)	-8.45	-159.36	0.08	82.7700
类型(2)	-24.82	-162.24	-3.53	170.9000
类型(3)	-92.25	-170.72	-17.48	176.9800
类型(4)	-167.58	173.82	-94.13	174.9738
故障类型	传统双 K 值整定		改进双 K 值整定	
	I 段	II 段	I 段	II 段
类型(1)	0.08	-159.36	1.62	-159.36
类型(2)	-3.53	-162.24	0.31	-162.24
类型(3)	-17.48	-170.72	-4.21	-170.72
类型(4)	-94.13	173.82	-21.18	173.82

在不同故障情况下的動作结果。

由表 4 可见,对于故障类型(1),采用单 K_3 值进行计算时,由于 K_3 值与实际零序互感系数 K_1 差异很大,且保护安装处不满足式(15)的条件,因此尽管有修正系数进行修正,单 K_3 值整定的距离 II 段仍然灵敏度不足发生拒动。而其他 3 类整定方法均正确动作。

对于故障类型(2),此时零序互感系数介于中间,对各类整定方法的测量阻抗未造成太大误差,4 类整定方法均正确动作。

对于故障类型(3),此时实际零序互感系数为 K_3 。同理,采用单 K_1 值进行计算时,由于系数误差很大,在有修正的情况下距离 I 段仍然超越发生误动。

对于故障类型(4),双回线 N 端母线解列运行,且 M 端为弱馈系统。此时 N_1 端发生接地故障,受系统运行方式的影响,线路 L_2 上流过的零序电流较大,使线路 L_1 对应的零序互感系数很小。由表 4 可见,在该情况下,除文中提出的改进双 K 值以外,包括传统双 K 值在内的其他 3 类整定方法距离 I 段均超越误动。

综上所述,在仿真中列出的几种故障类型中,仅改进双 K 值在各种情况下均能正确动作,较其他整定方法更具合理性。

5 结论

本文分析了同塔双回线路在各种运行方式下的零序补偿系数,并提出了距离保护整定的改进方案,理论和仿真分析表明:

- 同塔双回线一端出口故障时,故障线路的零序补偿系数在双回线同时运行时最大,在一端母线解列且非故障相零序电流较大时最小;
- 单 K 值整定方法将零序补偿系数的问题嫁给整定阻抗,可能导致距离保护误动和拒动;

c. 传统双 K 值整定方法中距离 I 段采用一回线检修时对应的 K_3 值, 在双回线一端母线解列时存在误动风险;

d. 改进双 K 值兼顾了距离 I 段的可靠性和距离 II 度的灵敏度, 性能良好, 满足同塔双回线接地距离保护运行需求。

参考文献:

- [1] 杜丁香, 周泽昕, 李岩军, 等. 1000 kV 交流同塔双回输电线路的电气特性仿真分析[J]. 电网技术, 2011, 35(3): 20-25.
DU Dingxiang, ZHOU Zexin, LI Yanjun, et al. Simulation analysis on electrical characteristics of 1000 kV AC double-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2011, 35(3): 20-25.
- [2] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 140-185.
- [3] 文明浩, 陈德树, 尹项根, 等. 平行线对接地距离保护运行特性的影响[J]. 继电器, 2000, 28(4): 53-56.
WEN Minghao, CHEN Deshu, YIN Xianggen, et al. Analysis of some protection schemes on double transmission lines on the ground fault conditions[J]. Relay, 2000, 28(4): 53-56.
- [4] 朱丰富. 零序互感对线路接地距离保护的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 113-115.
ZHU Jingfu. Zero-sequence mutual inductance on the ground distance elements impact analysis[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(9): 113-115.
- [5] 刘天斌, 张月品. 同塔并架线路接地距离保护零序电流补偿系数整定[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(10): 101-103.
LIU Tianbin, ZHANG Yuepin. Setting of zero-sequence current compensation coefficient for ground distance relays of double-circuit lines on same tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(10): 101-103.
- [6] 李炜, 陈剑, 姜美玲, 等. 考虑电容电流的同塔双回线接地距离保护零序电流补偿系数的整定[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 281-284.
LI Wei, CHEN Jian, JIANG Meiling, et al. Setting of zero-sequence current compensation coefficient for ground distance relays of double-circuit transmission lines on same tower considering capacitive current[J]. Power System Technology, 2012, 36(7): 281-284.
- [7] 张华中, 王维庆, 朱玲玲, 等. 双回输电线路自适应距离保护[J]. 电网技术, 2009, 33(18): 209-213.
ZHANG Huazhong, WANG Weiqing, ZHU Lingling, et al. Adaptive distance protection of double-circuit transmission line[J]. Power System Technology, 2009, 33(18): 209-213.
- [8] 宋国兵, 刘志良, 康小宁, 等. 一种同杆并架双回线接地距离保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 102-106, 114.
SONG Guobing, LIU Zhiliang, KANG Xiaoning, et al. A scheme for ground distance protection of parallel transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 38(12): 102-106, 114.
- [9] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 270-277.
- [10] 张健康, 粟小华, 胡勇. 750 kV 同塔双回线接地距离保护整定计算[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(22): 102-105.
ZHANG Jiankang, SU Xiaohua, HU Yong. Setting calculation of ground distance protection for 750 kV double-circuit lines on the same tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(22): 102-105.
- [11] 周春霞, 余越, 赵寒, 等. 特高压同塔双回线路零序电流补偿系数整定对接地距离保护的影响研究[J]. 电网技术, 2012, 36(12): 106-111.
ZHOU Chunxia, YU Yue, ZHAO Han, et al. Influence of zero-sequence current compensation coefficient setting on earth-fault distance protection for double-circuit UHVAC transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2012, 36(12): 106-111.
- [12] 李伟. 同杆双回线距离保护研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
LI Wei. Distance protection study of double-circuit transmission lines on the same tower[D]. Beijing: North China Electric University, 2012.
- [13] 柳焕章, 李银红. 大电流接地系统线路高阻接地距离继电器[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(34): 93-98.
LIU Huanzhang, LI Yinhong. High resistance grounded distance relay in solidly earthed system[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(34): 93-98.
- [14] 刘登峰, 柳焕章, 李银红, 等. 超高压电网线路距离保护延时段整定计算[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(19): 61-65.
LIU Dengfeng, LIU Huanzhang, LI Yinhong, et al. Study on setting calculation of distance protection time-delay zones for ultra-high voltage power transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 61-65.
- [15] 杨兰, 杨廷方, 曾祥君. 自适应接地距离继电器的研究[J]. 电工技术学报, 2010, 25(4): 77-81.
YANG Lan, YANG Tingfang, ZENG Xiangjun. Study of adaptive grounding distance relay[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(4): 77-81.
- [16] 张华中, 王维庆, 朱玲玲, 等. 基于过渡电阻计算的接地距离保护[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 37-42.
ZHANG Huazhong, WANG Weiqing, ZHU Lingling, et al. Ground distance relay based on fault resistance calculation[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 37-42.

作者简介:



姜宪国

姜宪国(1986—), 男, 山西忻州人, 工程师, 博士, 从事电力系统继电保护方面的研究工作(E-mail: wuuu6170@126.com);

刘宇(1979—), 男, 北京人, 高级工程师, 硕士, 从事电力系统自动化和继电保护领域的管理工作;

周泽昕(1969—), 女, 山东德州人, 教授级高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护原理及测试、电力系统动态模拟技术;

杜丁香(1977—), 女, 山西太原人, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护原理及测试、电力系统动态模拟技术;

李仲青(1978—), 男, 黑龙江鸡西人, 高级工程师, 硕士, 从事电力系统继电保护方面的研究工作。

(下转第 30 页 continued on page 30)

micro-grid powered by distributed energy resources[D]. Tianjin; Tianjin University, 2010.

[20] 肖朝霞,方红伟. 含多分布式电源的微网暂态稳定分析[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 253-261.

XIAO Zhaoxia, FANG Hongwei. Transient stability analysis of microgrids containing multiple micro sources[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 253-261.

[21] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2002: 330-349.

作者简介:

徐青山(1979—),男,江苏泰州人,教授,博士研究生导



徐青山

师,博士,主要研究方向为新能源发电与智能配电网;

刘中泽(1989—),男,安徽安庆人,助理工程师,硕士,主要研究方向为配电网运行与分析;

陈潇鹏(1992—),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要研究方向为智能配电网(E-mail: 15651667605@163.com);

杨永标(1978—),男,江苏南通人,高级工程师,硕士,主要研究方向为智能配用电技术;

黄莉(1985—),女,江苏徐州人,工程师,硕士,主要研究方向为智能配用电技术。

Three-phase time-domain simulation of distribution network with distributed generations

XU Qingshan¹, LIU Zhongze², CHEN Xiaopeng¹, YANG Yongbiao³, HUANG Li³

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

3. Nari Technology Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: With the development and application of renewable energy, lots of DG (Distributed Generation) are connected to the distribution network, which causes the stability problem because of its position diversity and capacity enhancement. Based on the basic model of DG, its circuit and controller models in dq coordinates are built to solve the contradiction between the symmetric DG model and the asymmetric distribution network voltage. Based on the single-phase electromechanical transient model of transmission network, a three-phase time-domain simulation method is proposed for the distribution network and its key techniques are introduced. The simulative results of test cases prove the correctness of theoretical analysis.

Key words: electric power distribution; distributed power generation; time domain; computer simulation; transients

(上接第14页 continued from page 14)

Analysis of zero-sequence current compensation coefficient and improvement of setting method for grounding distance protection of dual-loop lines on same tower

JIANG Xianguo¹, LIU Yu², ZHOU Zexin¹, DU Dingxiang¹, LI Zhongqing¹

(1. State Key Laboratory for Security and Energy Saving, China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. National Power Dispatching & Communication Centre, Beijing 100031, China)

Abstract: The zero-sequence current compensation coefficient K of dual-loop lines on same tower is compared among four typical operating modes and the characteristics of single- K setting and dual- K setting are analyzed, which show that, the single- K setting may cause the improper operation of protection when the impedance setting reaches a certain value, while the dual- K setting is theoretically more reasonable because different values of K are set for different protection zones. Since the compensation coefficient set by the present dual- K setting for zone-I of grounding distance protection is not the minimum among all operating modes, which may cause the maloperation of protection when one terminal of dual-loop lines is disconnected, it is proposed to take the weighted average of the compensation coefficient when one loop is in maintenance mode and the minimum compensation coefficient when one terminal of dual-loop lines is disconnected as the zero-sequence current compensation coefficient for zone-I of grounding distance protection. Simulative results demonstrate that, the improved dual- K setting gives consideration to both the reliability of zone-I and the sensitivity of zone-II, with better performance than that of traditional single- or dual- K setting.

Key words: dual-loop lines on same tower; relay protection; grounding distance protection; operating mode; zero-sequence current compensation coefficient; setting; reliability; sensitivity