

同塔四回线接地距离保护的分析

张颖, 邵能灵

(上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 同塔多回线路由于零序互感的影响, 当发生接地短路时, 接地距离保护的测量阻抗会产生偏差, 导致保护误动或拒动。分析计算了同塔四回线在不同运行方式下零序电流补偿系数及其对接地距离保护测量阻抗的影响, 并分析了线路不同运行方式下测量阻抗的偏差的特点, 进而提出了整定零序电流补偿系数的方法。算例表明, 按各方式下最小的零序电流补偿系数来整定, 可保证在所有方式下保护至少覆盖线路的50%, 保证两侧保护范围有交叉。

关键词: 同塔四回线; 接地距离保护; 零序电流补偿系数; 零序互感; 测量阻抗

Analysis of ground distance protection for quadruple-circuit transmission lines on the same tower

ZHANG Ying, TAI Neng-ling

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The zero sequence mutual inductance among the multi-circuit transmission lines will cause the deviation of the measured impedance of the grounding distance protection, and potentially leading to the protection's over-reach or under-reach. The zero sequence current compensation coefficient for the quadruple-circuit transmission lines on the same tower is analyzed under different operation modes. According to that, its influence on the measured impedance and the deviation of measured impedance along the lines are also discussed. Finally, a new method to calculate and coordinate the zero sequence current compensation coefficient is proposed. At least half of the line is covered under various operation modes by setting the minimum of all operation modes as the zero sequence current compensation coefficient, ensuring the overlap of protection zone.

Key words: quadruple-circuit transmission lines on a same tower; grounding distance relay; zero sequence current compensation coefficient; zero sequence mutual inductance; measured impedance

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)12-0001-06

0 引言

近年来, 为缓解大容量电力输送与输电线路走廊资源的矛盾, 采用同塔并架多回线路已成为输电线路建设的趋势。在同塔双回线的基础上, 我国已出现多例同塔四回线工程。接地距离保护是超高压输电线路中应用非常广泛的主保护之一。同塔多回线的一个显著特征是线间存在复杂的电磁耦合, 将使接地距离保护的测量阻抗产生偏差, 使距离保护的灵敏性、可靠性和选择性受到影响^[1-5]。本文采用同塔四回线路模型, 结合实例分析了不同运行方式下对零序电流补偿系数及其接地距离保护测量阻抗的影响, 并给出了整定零序电流补偿系数的方法。

1 同塔四回线不同运行方式下的零序电流补偿系数的分析

对常规接地距离保护, 当不考虑相邻线补偿和保护极化时, 其保护测量阻抗一般为:

$$Z = \frac{\dot{U}_\phi}{\dot{I}_\phi + 3k\dot{I}_0} \quad (1)$$

式中: U_ϕ, I_ϕ, I_0 分别为保护安装处的相电压、相电流、零序电流; k 为零序电流补偿系数。

零序电流补偿系数一般按式(2)计算:

$$k = \frac{Z_{10} - Z_{11}}{3Z_{11}} \quad (2)$$

式中: Z_{11}, Z_{10} 分别为线路的单位正序阻抗和零序阻抗。

同塔多回线零序互感对接地距离继电器测量阻抗的影响可体现在零序电流补偿系数上, 其与接线方式、运行方式、两侧电源的强弱等因素有关。同塔四回线主要运行方式如下:

- (1) 四回线在两侧同母线, 均正常运行;
- (2) 四回线在两侧同母线, 其中一回线挂地检修, 另外三回线运行;
- (3) 四回线在两侧同母线, 其中有两回线挂地

检修，另外两回线运行；

(4) 四回线在两侧同母线，3回线挂地检修，1回线运行；

(5) 同塔四回线一侧同母线，另一侧分裂成2个双回线运行。

下面分析在第 I 回线上发生单相金属性接地短路时，各种运行方式下的零序电流补偿系数。

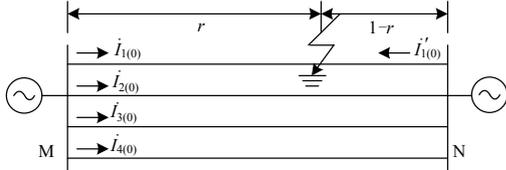


图1 运行方式1

Fig.1 Running mode 1

(1) 四回线运行，其中第 I 回线发生故障。

$$\dot{U}_{M\phi} = rL(\dot{I}_{1(0)}Z_{11} + \dot{I}_{1(2)}Z_{12} + \dot{I}_{1(0)}Z_{10} + \dot{I}_{2(0)}Z_{0m12} + \dot{I}_{3(0)}Z_{0m13} + \dot{I}_{4(0)}Z_{0m14}) = rL[\dot{I}_{1\phi}Z_{11} + \dot{I}_{1(0)}(Z_{10} - Z_{11}) + \dot{I}_{2(0)}Z_{0m12} + \dot{I}_{3(0)}Z_{0m13} + \dot{I}_{4(0)}Z_{0m14}] = rLZ_{11}(\dot{I}_{1\phi} + 3k\dot{I}_{1(0)}) \quad (3)$$

式中： $\dot{U}_{M\phi}$ 、 $\dot{I}_{1(1)}$ 、 $\dot{I}_{1(2)}$ 、 $\dot{I}_{1(0)}$ 分别为 M 侧保护的相电压、第 I 回线路的正、负、零序电流； $\dot{I}_{2(0)}$ 、 $\dot{I}_{3(0)}$ 、 $\dot{I}_{4(0)}$ 分别为第 II、III、IV 回线路的零序电流； Z_{0m12} 、 Z_{0m13} 、 Z_{0m14} 分别为第 I 回线与第 II、III、IV 回线之间的零序互感阻抗； Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 分别为线路的零序、正序、负序阻抗； L 、 r 分别为线路长度、故障点到 M 侧的距离占线路总长的比例。其中

$$k = \frac{Z_{10} - Z_{11}}{3Z_{11}} + \frac{\dot{I}_{2(0)}Z_{0m12} + \dot{I}_{3(0)}Z_{0m13} + \dot{I}_{4(0)}Z_{0m14}}{3Z_{11}\dot{I}_{1(0)}} = k_0 + \Delta k \quad (4)$$

由此可见， Δk 与四回线上的零序电流的大小和方向有关，而三回非故障线路上的零序电流的大小和方向决定于故障点的位置和两侧电源的强弱。

为简化起见，可把第 II、III、IV 回线等效为一回线，再利用电路的 Δ -Y 变换，得运行方式 1 的等效零序网络图，如图 2 所示。其中 Z_{SM} 、 Z_{SN} 为 M、N

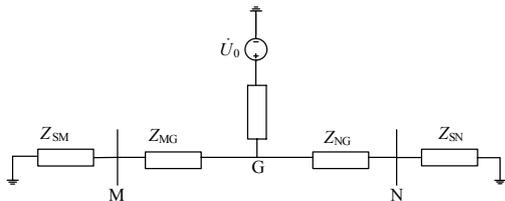


图2 运行方式1的等效零序网络

Fig.2 Equivalent zero sequence network of running mode 1

两侧的零序系统阻抗。考察 M、N 处的零序电压 \dot{U}_{M0} 、 \dot{U}_{N0} ，有

$$\dot{U}_{M0} = \frac{\dot{U}_G Z_{SM}}{Z_{SM} + Z_{MG}} = \frac{\dot{U}_G}{1 + \frac{Z_{MG}}{Z_{SM}}} \quad (5)$$

$$\dot{U}_{N0} = \frac{\dot{U}_G Z_{SN}}{Z_{SN} + Z_{NG}} = \frac{\dot{U}_G}{1 + \frac{Z_{NG}}{Z_{SN}}}$$

由电路分析可知，

$$Z_{MG} \propto r, Z_{NG} \propto (1-r), \text{且 } Z_{MG}/Z_{NG} = r/(1-r)$$

$$\text{则当 } \frac{Z_{MG}}{Z_{SM}} = \frac{Z_{NG}}{Z_{SN}} \text{ 时，即 } \frac{Z_{MG}}{Z_{NG}} = \frac{r}{1-r} = \frac{Z_{SM}}{Z_{SN}} \quad (6)$$

时， $\dot{U}_{M0} = \dot{U}_{N0}$ ，此时第 II、III、IV 回线上的零序电流为 0，当 M、N 两侧的系统零序阻抗一定时，由式 (6) 确定的距 M 侧 r 处即为“平衡点”^[4]。在平衡点处，由式 (4) 知， $\Delta k = 0$ ；在此平衡点以左， $|\dot{U}_{M0}| > |\dot{U}_{N0}|$ ， $\dot{I}_{2(0)}$ 、 $\dot{I}_{3(0)}$ 、 $\dot{I}_{4(0)}$ 从母线 M 流向母线 N，与 $\dot{I}_{1(0)}$ 的实际方向相反，零序互感起去磁作用， $\Delta k < 0$ ；在此平衡点以右， $\dot{I}_{2(0)}$ 、 $\dot{I}_{3(0)}$ 、 $\dot{I}_{4(0)}$ 从母线 N 流向母线 M，与 $\dot{I}_{1(0)}$ 方向相同，零序互感起到增磁作用， $\Delta k > 0$ 。即在此平衡点左侧，零序互感去磁，在此平衡点右侧，零序互感增磁。当两侧系统零序参数确定时，可由式 (6) 确定平衡点的位置。

(2) 一回线挂地检修，另外三回线运行

如图 3 所示，设第 IV 回线挂地检修，第 I 回线发生故障。同理有式 (3)、式 (4) 成立。

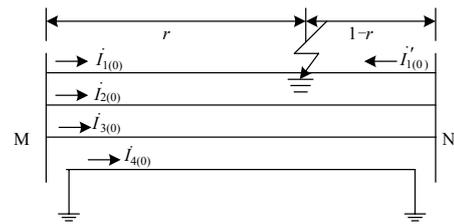


图3 运行方式2

Fig.3 Running mode 2

对于本运行方式及下面几种运行方式，都可按方式 1 同样的方法进行分析，且可证明平衡点的位置同样可由式 (6) 确定，此处不再详述。当故障发生在平衡点以左时， $\dot{I}_{2(0)}$ 、 $\dot{I}_{3(0)}$ 从母线 M 流向母线 N，与 $\dot{I}_{1(0)}$ 方向相反，零序互感起去磁作用，而 $\dot{I}_{4(0)}$ 从 N 侧流向 M 侧，削弱了零序互感的去磁作用，因此， $\Delta k < 0$ ，但比方式 1 对应的 Δk 大；故障发生在平衡点以右时， $\dot{I}_{2(0)}$ 、 $\dot{I}_{3(0)}$ 从母线 N 流向母线 M，与 $\dot{I}_{1(0)}$

方向相同, 零序互感起到增磁作用, 而 $\dot{I}_{4(0)}$ 从M侧流向N侧, 削弱了零序互感的增磁作用, 因而 $\Delta k > 0$, 但比方式1对应的 Δk 小。即在平衡点左侧, 零序互感微弱去磁, 在平衡点右侧, 零序互感微弱增磁。

(3) 两回线挂地检修, 另外两回线运行

如图4所示, 设第III、IV回线挂地检修, 第I回线发生故障。对于本运行方式, 当故障发生在平衡点以左时, $\dot{I}_{3(0)}$ 、 $\dot{I}_{4(0)}$ 从N侧流向M侧, 与 $\dot{I}_{1(0)}$ 的实际方向相同, 零序互感起增磁作用, 而 $\dot{I}_{2(0)}$ 从M侧流向N侧, 削弱了零序互感的增磁作用, $\Delta k > 0$; 当故障发生在平衡点以右时, $\dot{I}_{3(0)}$ 、 $\dot{I}_{4(0)}$ 从M侧流向N侧, 与 $\dot{I}_{1(0)}$ 方向相反, 零序互感起到去磁作用, 而 $\dot{I}_{2(0)}$ 从N侧流向M侧, 削弱了零序互感的去磁作用, $\Delta k < 0$ 。即在平衡点左侧, 零序互感微弱增磁, 在平衡点右侧, 零序互感微弱去磁。

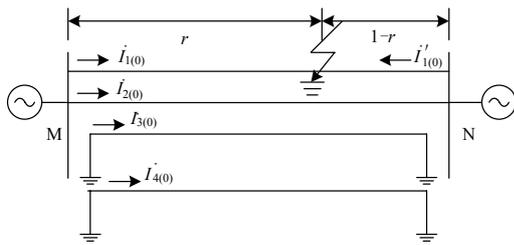


图4 运行方式3

Fig.4 Running mode 3

(4) 3回线挂地检修, 1回线运行

如图5所示, 设II、III、IV回线挂地检修, 第I回线发生故障。在平衡点左侧短路时, 零序互感增磁, $\Delta k > 0$, 且比方式3对应的 Δk 大, 测量阻抗增大; 在平衡点右侧短路时, 零序互感去磁, 测量阻抗减小, $\Delta k < 0$, 且比方式3对应的 Δk 更小。

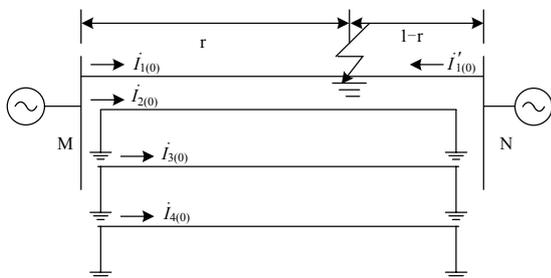


图5 运行方式4

Fig.5 Running mode 4

(5) 同塔四回线一侧分裂运行

如图6所示, 四回线在M侧分裂运行, 其中第I、

II回线共母线, 第III、IV回线共母线。假设第I回线发生故障。

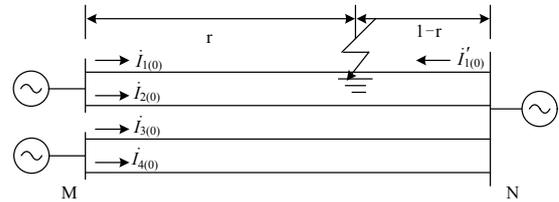


图6 运行方式5

Fig.6 Running mode 5

由于第III、IV回线的零序电流方向只能是由N侧流向M侧, 因而第I回线上任意一点发生故障时, 对于M侧保护装置而言, 零序互感都起到较强的增磁作用 (不存在平衡点), $\Delta k > 0$; 而对于N侧接地距离保护而言, 零序互感的作用都是去磁, $\Delta k < 0$ 。

2 零序互感对接地测量阻抗的影响

接地距离保护I段的定值通常按保护所在线路正序阻抗的70%~80%整定, 由于零序互感的存在, 按此方式计算出来的定值往往会使I段在某些方式下误动或保护范围缩小。

为了考察零序互感对测量阻抗的影响, 本文以华东某同塔四回线为例进行分析计算, 线路参数为: 线路正序感抗为 $0.0342+j0.3306 \Omega/\text{km}$, 零序感抗为 $0.2555+j1.2858 \Omega/\text{km}$, 线路之间的零序互感如表1所示。

表1 各回线间的零序互感

Tab.1 Zero sequence mutual inductance between lines

线间组合	零序互感/ Ω/km
I - II	0.2214+j0.7876
I - III	0.2391+j0.7289
I - IV	0.2391+j0.6857
II - III	0.2391+j0.6857
II - IV	0.2391+j0.7289
III - IV	0.2612+j0.7662

由以上参数可计算出 $k_0 = 0.9631$ 。以下为各种运行方式下、在不同的故障点, Δk 的值、按 k_0 计算得到的测量阻抗值与实际阻抗的偏差 ΔZ 。为了考察平衡点位置与两侧系统强弱的关系, 仿真了三种不同情况: 两侧系统强弱相同; M侧系统较强

($Z_{SN} = 2Z_{SM}$) ; N侧系统较强($Z_{SM} = 2Z_{SN}$)。

将5种运行方式下的 Δk 和 ΔZ 画在同一张图上,如图7~12所示。

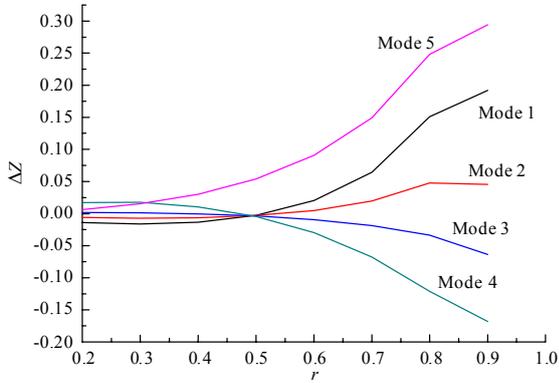


图7 两侧电源强弱相同时各运行方式下的 ΔZ

Fig.7 Deviation of measured impedance under various running modes with equivalent power source of two sides

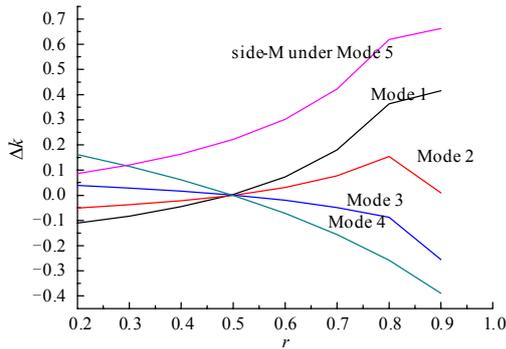


图8 两侧电源强弱相同时各运行方式下的 Δk

Fig. 8 Deviation of k under various running modes with equivalent power source of two sides

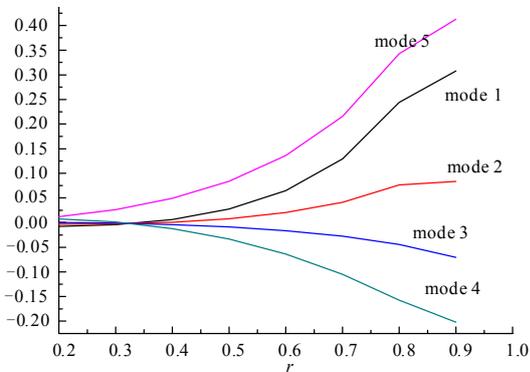


图9 N侧系统较弱时的 ΔZ

Fig.9 Deviation of measured impedance under various running modes with weak power source of side-N

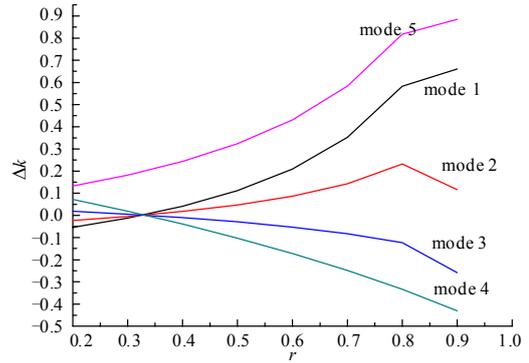


图10 N侧系统较弱时的 Δk

Fig.10 Deviation of k under various running modes with weak power source of side-N

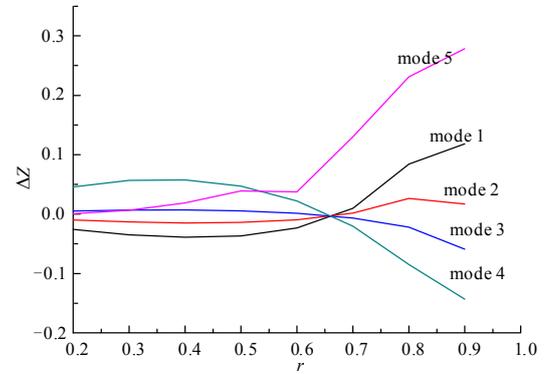


图11 M侧系统较弱时的 ΔZ

Fig.11 Deviation of measured impedance under various running modes with weak power source of side-M

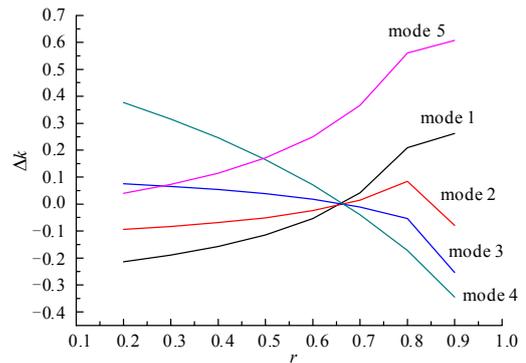


图12 M侧系统较弱时的 Δk

Fig.12 Deviation of k under various running modes with weak power source of side-M

由上述仿真数据可知,除一侧分裂运行外,线路上总存在一个平衡点,平衡点的位置与两侧电源系统的强弱有关。在两侧系统强弱相同、M侧系统较强($Z_{SN} = 2Z_{SM}$)、N侧系统较强($Z_{SM} = 2Z_{SN}$)这三种情况下,由图7~12知,平衡点分别在0.5、0.33、0.66左右,与由式(6)算出的 r 值相符。

而各种运行方式下沿线 k 值的变化趋势是不一样的。在方式1中,随着故障点的变化,零序互感的作用由去磁变为增磁,在平衡点左侧发生故障时,零序互感去磁, $\Delta k < 0$,按 k_0 计算的测量阻抗比实际阻抗小,即 $\Delta Z < 0$;在平衡点右侧发生故障时,零序互感增磁, $\Delta k > 0$,按 k_0 计算的测量阻抗比实际阻抗大($\Delta Z > 0$),缩短了M侧保护装置的保护范围。

方式2,1回线挂地检修。其 Δk 和 ΔZ 的变化趋势和方式1相似,只不过零序互感的去磁和增磁作用较微弱,曲线较平缓。

方式3,2回线挂地检修。在平衡点左侧(即靠近M侧),零序互感微弱增磁, $\Delta k > 0$,使测量阻抗大于实际阻抗,即 $\Delta Z > 0$;在平衡点右侧,零序互感微弱去磁, $\Delta k < 0$,使测量阻抗小于实际阻抗,即 $\Delta Z < 0$ 。

方式4,3回线挂地检修。其 Δk 和 ΔZ 的变化趋势和方式3相似,且在平衡点右侧零序互感的去磁作用更加明显,测量阻抗明显小于实际阻抗,拉伸了保护范围,会造成接地距离保护的超越误动。

方式5,M侧母线分裂运行。可以看出,当第1回线上任意一点发生故障时,对于M侧保护装置而言,零序互感都起到较强的增磁作用(不存在平衡点),致使线路末端故障时测量阻抗的偏差在20%以上,造成M侧保护装置的保护范围明显缩短;而对于N侧接地距离保护而言,全线任意一点发生故障时,零序互感的作用都是去磁,由此造成N侧接地距离保护范围伸长。

3 零序电流补偿系数的整定

接地距离保护用来反映接地故障点至保护安装处的阻抗值。由前面分析可知,零序补偿系数 k 随运行方式、故障点位置而异。因此,如何正确选择零序补偿系数,使接地距离保护能正确反映故障点至保护安装处的阻抗值是至关重要的^[6-8]。

当距离保护作为线路主保护时,为了保证对全线上的所有故障,两侧保护均能正确跳闸,每侧保护应至少要覆盖线路的50%,以使两侧保护范围有交叉。还应保证保护有选择性,以避免对线路远端整定范围之外的故障发生超越^[9]。因此,零序电流补偿系数的整定原则一般为取各种运行方式下最小的零序电流补偿系数^[8,10]。记 k 为保护装置实际整定的零序补偿系数; k_j 为不同运行方式下的零序补偿系数, $j=1, 2, \dots$ 。若按照各种运行方式下最小的零序电流补偿系数来整定,按照文献[8]的方法,对于其它各运行方式,测量阻抗与实际故障阻抗之

间的关系为:

$$\beta = \frac{Z_\phi}{Z} = \frac{1+k_j}{1+k} > 1$$

即,若保护装置按照各种运行方式下最小的零序电流补偿系数进行整定,则在其它运行方式下,测量阻抗将增大,从而导致保护范围缩小。因此需再校验各个其它运行方式下接地距离保护的保护范围,确定其大于50%。

为验证本文方法的有效性,现考察本例中两侧电源强弱相同的情况,按照取各运行方式下最小的零序补偿系数来整定的方法,此时取运行方式4在70%处故障时的零序补偿系数,即 $k = k_0 + \Delta k = 0.8066$ 。采用该系数后,各个运行方式下距离保护的测量阻抗如表2。

表2 按 $k=0.8066$ 计算的各运行方式下的测量阻抗

Tab.2 Measured impedance with $k=0.8066$ under various

故障 距离	running modes				
	运行方 式1	运行方 式2	运行方 式3	运行方 式4	运行方 式5
50%	0.540 4	0.54	0.539 3	0.537 1	0.61
60%	0.673 2	0.656 4	0.641 2	0.612 0	0.749 4
70%	0.828 2	0.779 9	0.738 9	0.694 6	0.900 9

由表2可看出,采用此零序补偿系数以后,所有方式在本线70%及以下范围故障,测量阻抗均大于实际阻抗,即I段保护范围缩短,并且有一定的保护范围(至少50%),符合规程要求。本例表明本文方法的可行性,对于某个具体的同塔四回线路,需根据两侧电源参数及具体运行方式计算各运行方式下的零序补偿系数,再据此整定。

另外,对于同杆线路两相两导线跨线接地故障,只要选相正确,每回线故障相的接地距离保护能正常工作,而邻线为故障相的接地距离保护I段也不会误动^[2]。因此,对于跨线接地故障,本文方法不受影响。

4 结论

本文分析了同塔四回线不同运行方式下的零序电流补偿系数,通过实例仿真计算,得到如下几个结论:

1) 接地距离保护受零序互感的影响主要体现在零序补偿系数上,本质上零序补偿系数表示零序互感到正序阻抗的折算关系,反映的是零序互感的强弱,在系统参数确定的情况下,受运行方式和故障点位置的影响较大,若其他线路零序电流对被考察线路表现为增磁作用,则 k 值增大,测量阻抗增大,

保护容易发生拒动,反之,如果是去磁作用,则 k 值减小,测量阻抗减小,保护容易发生误动。

2)除一侧分裂运行外,线路上总存在一个平衡点,在该处发生故障时,接地距离保护的测量阻抗的测量偏差为0,平衡点的位置与两侧电源系统的强弱有关,平衡点靠近电源系统较强的那一侧。

3)在所有运行方式中,四回线在一侧同母线、另一侧分裂成2个双回线运行时,分裂侧的零序补偿系数最大,保护的测量阻抗显著增大,造成该侧保护范围明显缩短,容易造成拒动;同母线侧保护的测量阻抗减小,拉伸了保护范围,容易造成误动。

4)按线路全长70%故障时各方式下最小的零序补偿系数整定,可保证所有方式在本线70%及以下范围故障时,保护至少覆盖线路的50%,保证了两侧保护范围有交叉。

参考文献

- [1] HU Yi, Novosel D, Saha M M, et al. An adaptive scheme for parallel-line distance protection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17 (1): 105-110.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 三版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
ZHU Sheng-shi. Principle and technology of high voltage networks protection[M]. 3rd ed. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [3] 高中德. 超高压电网继电保护原理专题分析[M]. 二版. 北京: 中国电力出版社, 1997.
GAO Zhong-de. Principle special analysis of ultra-high voltage networks relay protection[M]. 2nd ed. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [4] 冯博文. 双回线零序互感对接地距离继电器测量阻抗的影响[J]. 电力系统自动化, 1990, 14 (5): 33-39.
FENG Bo-wen. The effect of zero-sequence mutual inductance of double-circuit line on ground distance relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14 (5): 33-39.
- [5] 肖伟强, 蔡泽祥, 刘为雄, 等. 同杆线路零序互感对纵联距离保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (3): 84-88.
XIAO Wei-qiang, CAI Ze-xiang, LIU Wei-xiong, et al. Influence of zero sequence mutual inductance on the pilot distance relay in multi-circuit transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (3): 84-88.
- [6] 许慧敏. 多互感线路接地距离保护计算方法的探讨[J]. 电力系统自动化, 1996, 20 (6): 53-56.
XU Hui-min. The investigation on calculation method for the grounding distance protection in multi-mutual inductance lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20 (6): 53-56.
- [7] 王广学, 俸玲, 李晓娟. 电力系统输电线路接地距离保护整定计算研究[J]. 电网技术, 2002, 26 (2): 49-53.
WANG Guang-xue, FENG Ling, LI Xiao-juan. Research on setting calculation of grounding distance protection of transmission line[J]. Power System Technology, 2002, 26 (2): 49-53.
- [8] 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 Tian-bin, ZHANG Yue-pin. Coordination of zero sequence current compensation coefficient for ground distance protection of multi-circuit transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (10): 101-103.
- [9] 王向平, 徐磊, 张晓秋. 同塔并架四回线中线路保护的适应性[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (24): 80-85.
WANG Xiang-ping, XU Lei, ZHANG Xiao-qiu. Line protection feature study on adaptation to four-circuit transmission lines on a same tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (24): 80-85.
- [10] 杨增力, 段献忠, 王友怀, 等. 输电线路接地距离保护整定计算方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (8): 65-69.
YANG Zeng-li, DUAN Xian-zhong, WANG You-huai, et al. Coordination of ground distance relays for transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (8): 65-69.

收稿日期: 2009-08-05; 修回日期: 2009-08-17

作者简介:

张颖(1976-),女,博士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: lachen@sjtu.edu.cn

邵能灵(1972-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护。