

DOI: 10.7667/PSPC150794

一种确定保护受串补电容影响区域的仿真方法

刘毅, 刘汉伟, 梅涛

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: 近年来国内外研究串补电容对线路保护的影响的很多, 但是在研究电网中距离保护受串联补偿电容影响的区域的很少。在分析串联补偿电容对距离保护的影响的基础上, 提出一种基于短路电流确定距离保护受串联补偿电容影响的电网区域的仿真方法。通过对比分析部分站点测量阻抗的理论分析结果和仿真计算结果验证了仿真方法的正确性。同时以一具体工程实例采用仿真方法计算出距离保护受串补电容影响的电网区域。

关键词: 串联补偿电容; 短路电流; 距离保护; 仿真方法

Simulation method of defining the area in which the distance protection affected by the series compensation capacitor

LIU Yi, LIU Hanwei, MEI Tao

(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, China)

Abstract: There are many papers researching on series capacitor's effect on distance protection in recent years, but few papers researching on the area in which the distance protection affected by the series compensation capacitor. This paper firstly analyzes the effect of series compensation capacitor to distance protection, secondly presents a simulation method of defining the area in which the distance protection affected by the series compensation capacitor based on the short circuit current protection. The validity of the simulation method is proved by comparatively analyzing the result of theoretical calculation and simulation calculation. At last, taking a specific engineering as an example, the paper defines the area in which the distance protection affected by the series compensation capacitor by using the simulation.

Key words: series compensation capacitor; short circuit current; distance protection; simulation method

0 引言

长期的电力系统运行经验表明, 当高压/超高压线路需长距离输电时, 线路的阻抗较大, 输电潮流及系统稳定性均会随线路长度的增加而递减; 为了提高线路的输电能力及电力系统静态稳定性, 在输电线路中串联补偿电容^[1-5], 即在线路中串入一定容量的电容以减小全段线路对外的输电阻抗。由于串联补偿电容的容抗作用, 本线路或相邻线路故障后对外呈现的电气特性会发生变化, 进而影响保护装置的故障判别^[6-14], 因此, 研究串联补偿电容器对保护的影响, 进而对保护配置提出新要求, 使其满足有串补电容线路的需求有着重要意义。

近年来国内外研究串补电容对线路保护的影响的很多, 但是在研究如何界定系统中线路保护受串补电容影响的范围的很少; 在实际工程中, 当

线路中有串联补偿电容时, 也是采用以下经验做法: 串联补偿电容本线路配置串联补偿型线路保护, 相邻线路保护的I段退出运行; 没有对串联补偿电容对邻近站点距离保护有影响的区域进行详细和较精准的分析计算。本文重点研究分析串联补偿电容对距离保护的影响, 并结合某一工程实例, 提出一种基于短路电流确定串补电容对距离保护影响范围的仿真方法, 本文结合理论分析和仿真结果进行对比分析。

1 串联补偿电容对系统保护的影响

为了分析串联电容对系统保护的影响, 下面以简化的系统为例进行分析说明。

1.1 串联补偿电容对串补本线路保护的影响

在有串联补偿电容的线路上, 当串补电容附近发送故障时, 如图1所示故障点k1, 电流正方向如

图所示(Z_L 为故障点 k1 至 B 点的阻抗)。

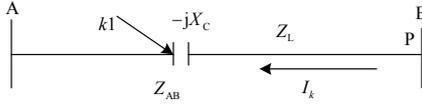


图 1 串补电容线路本线路故障示意图

Fig. 1 Fault in series compensation capacitor line

B 站保护测量电压为

$$U_P = I_k \times (Z_L - jX_C) \quad (1)$$

B 站 P 保护各自测量的电流分别为 I_k , 则 P 点的测量阻抗分别为

$$Z_P = \frac{U_P}{I_k} = Z_L - jX_C \quad (2)$$

假设 P 处保护的测量一段的定值设置为 0.8 倍全线路阻抗; 定义线路 AB 单位长度阻抗为 $r + jx$, 线路全程为 l_{AB} , 故障点距离 B 站距离 l , P 处保护过原点的动作阻抗如图 2 所示。

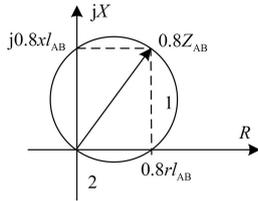


图 2 P 处距离 I 段动作阻抗圆示意图

Fig. 2 Zone 1 impedance circle of distance protection at point P

则由以上可知, P 处的一段距离保护在以下几种情况存在错误动作。

(1) 当 $l > 0.8l_{AB}$ 时

P 点测量阻抗 $Z_P = rl + j(xl - X_C)$ 的实部大于 $0.8rl_{AB}$, 虚部 $xl - X_C$ 由于串补电容 X_C 的影响, 当 Z_P 落在动作圆内 1 区时, 则 P 处保护会超范围误动。

(2) 当 $l < 0.8l_{AB}$ 时

P 点测量阻抗 $Z_P = rl + j(xl - X_C)$ 的实部小于 $0.8rl_{AB}$, 虚部 $xl - X_C$ 由于串补电容 X_C 的影响, 当 Z_P 落在动作圆外 2 区时, 则 P 处保护则拒动。

1.2 串联补偿电容对串补相邻线路保护的影响

本文仅分析相邻第一级线路保护所受的影响。在有串联补偿电容的线路上, 当串补电容附近 k1 点发送故障时(Z_L 为故障点 k1 至 B 点的阻抗), 电流正方向如图 3 所示。

B、C 站 Q、R 点保护测量电压分别为

$$U_Q = (I_{k1} + I_{k2}) \times (Z_L - jX_C) \quad (3)$$

$$U_R = (I_{k1} + I_{k2}) \times (Z_L - jX_C) + I_{k1} \times Z_{BC} \quad (4)$$

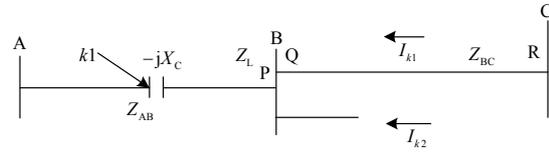


图 3 串补电容对邻线影响的示意图

Fig. 3 Series compensation capacitor's effect to adjacent line

Q、R 保护各自测量的电流分别为 $-I_{k1}$ 、 I_{k1} , 定义线路 BC 阻抗为 $Z_{BC} = R_{BC} + jX_{BC}$, 故障点距离 B 站的阻抗 $Z_L = R_L + jX_L$, 则 Q、R 点的测量阻抗分别为

$$Z_Q = \frac{U_Q}{-I_{k1}} = -\left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)(Z_L - jX_C) = -\left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)R_L - j\left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)(X_L - X_C) \quad (5)$$

$$Z_R = \frac{U_R}{I_{k1}} = Z_{BC} + \left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)(Z_L - jX_C) = R_{BC} + \left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)R_L + j\left[X_{BC} + \left(1 + \frac{I_{k2}}{I_{k1}}\right)(X_L - X_C)\right] \quad (6)$$

由上式可得 $Z_R + Z_Q = R_{BC} + jX_{BC} = Z_{BC}$, 即可得当非本线发生金属性故障时, 线路两侧保护的测量阻抗之和为本线路的阻抗。

为了定性分析, 不考虑分支电流 I_{k2} , 则 Q、R 点的测量阻抗分别为

$$Z_Q = -R_L - j(X_L - X_C) \quad (7)$$

$$Z_R = R_{BC} + R_L + j(X_{BC} + X_L - X_C) \quad (8)$$

Q、R 点保护过原点的动作阻抗如图 4 所示。

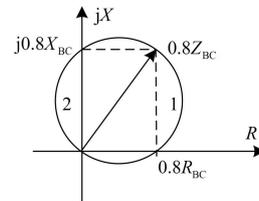


图 4 Q、R 处距离 I 段动作阻抗圆示意图

Fig. 4 Zone 1 impedance circle of distance protection at point Q and R

(1) 当 $-0.8X_{BC} < X_L - X_C < 0$ 时

Q 点测量阻抗在第二象限, 如果测量阻抗落在阻抗动作圆内 2 区, 则 Q 处保护会误动。

(2) 当 $0 < X_{BC} + X_L - X_C < 0.8X_{BC}$ 时

R 点测量阻抗在第一象限, 如果测量阻抗落在阻抗动作圆内 1 区, 则 R 处保护会误动。

综合上述 1.1 节和 1.2 节分析, P、Q、R 三处保护的距離一段均可能因为串联电容的影响, 而导致保护误动或者拒动。

2 工程实例介绍

为了分析串联电容对系统保护的影响, 下面以简化的系统为例进行分析说明。本次相关线路的参数如表 1。

表 1 相关线路参数表

Table 1 Related line's parameter

线路名称	单线线路电抗(标么值)
O-D 一、二线	0.0002+j0.003
E-D 一、二线	0.0007+j0.0127
D-L 一、二线	0.0005+j0.0103
E-G 一、二线	0.0001+j0.002
E-F 一、二线	0.0009+j0.0155
E-H 一、二线	0.0007+j0.0102
I-H 一、二线	0.0004+j0.0051
I-J 一、二线	0.0007+j0.0102
O-N 一、二线	0.0002+j0.0041
M-N 一、二线	0.0001+j0.0031
S-N 一、二线	0.0002+j0.0039
M-L 一、二线	0.0002+j0.0041
I-L 一、二线	0.0002+j0.0052
I-K 一、二线	0.0001+j0.002
L-K 一、二线	0.0002+j0.0041
V-K 一、二线	0.0002+j0.0041
V-U 一、二线	0.0002+j0.0041
O-R 一、二线	0.0005+j0.0093
T-R 一、二线	0.0002+j0.0041
T-U 一、二线	0.0003+j0.0046
T-Y 一、二线	0.0009+j0.011
O-Q 一、二线	0.0001+j0.0015
O-P 一、二线	0.0009+j0.0122
D-C 一、二线	0.0005+j0.008
B-C 一、二线	0.0005+j0.008
A-B 一、二线	0.0004+j0.0056
X-V 一、二线	0.0004+j0.008
W-V 一、二线	0.0001+j0.0015

电网拓扑接线图如图 5 所示。

图 5 中, 串补 1~4 的容抗分别为所在线路阻抗的 50%, 安装位置在 C 站的出口处。串补 1~4 考虑为固定串联补偿电容。

以 B~C~D 线路中的串联补偿电容器对相关线路保护的影响分析为基础, 提出一种“分析界定距离保护受串补电容影响的范围”的工程方法。

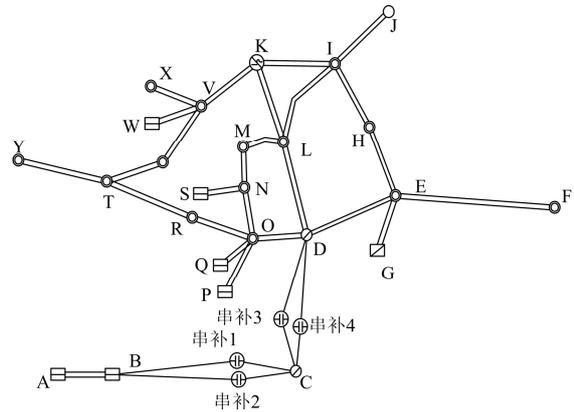


图 5 系统拓扑示意图

Fig. 5 System connection diagram

3 界定距离保护受串补电容影响范围的工程方法

本文基于电力系统短路电流计算的基础上, 提出一种界定保护受串补电容影响范围的方法。该方法具体步骤如下:

- (1) 用短路电流计算程序在最严重处(串补电容处)模拟故障, 输出关注站点在故障后的电流、电压;
- (2) 根据步骤(1)中所得的电流电压, 计算出所关注站点的测量阻抗;
- (3) 将步骤(2)中所得的测量阻抗和关注站点的保护定值相比较, 确定该站点在该故障方式下是否受串补电容的影响。

以第 2 节中介绍的系统为例, 详细说明确定受串补电容影响范围的方法和步骤。

3.1 系统分析

首先根据拓扑结构分析在哪种运行方式下, 哪个位置故障后, 串补电容对系统中的距离保护影响最大。

3.1.1 串补电容本线路

考虑对装有串联补偿电容线路影响最严重的运行方式, 即 C 站内(考虑为 3/2 断路器接线)分串运行, 拓扑参数如图 6 所示。

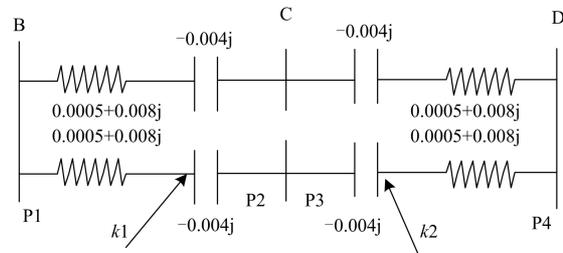


图 6 最严重运行方式示意图

Fig. 6 Diagram of the most serious operation mode

按图 6 所示, 对于 P1 保护来说, 当 k2 故障时 P1 的距离保护受影响最大, 同理 P4 保护在 k1 故障

时所受影响最大。

下面以 $k1$ 三相接地故障为例, P2、P3、P4 处分别以上面提出的仿真方法及理论分析方法分别计算测量阻抗。

(1) 短路电流仿真方法

当 $k1$ 三相接地故障时, 用短路电流仿真得出 P2、P3、P4 处电流电压分别为

$$I_{P2} = 330.69 \angle -68.0 \quad (9)$$

$$U_{P2} = 1.29 \angle -158.0 \quad (10)$$

$$I_{P3} = 332.27 \angle 112.0 \quad (11)$$

$$U_{P3} = 1.29 \angle -158.0 \quad (12)$$

$$I_{P4} = 331.74 \angle -68.0 \quad (13)$$

$$U_{P4} = 0.18 \angle -45.6 \quad (14)$$

即 P2、P3、P4 保护计算出的阻抗分别为

$$Z_{P2} = U_{P2} / I_{P2} = 0.0039 \angle -90 = -0.0039j \quad (15)$$

$$Z_{P3} = U_{P3} / I_{P3} = 0.0039 \angle 90 = 0.0039j \quad (16)$$

$$Z_{P4} = U_{P4} / I_{P4} = 0.00054 \angle 22.4 = 0.0005 + 0.0002j \quad (17)$$

(2) 理论分析方法

根据理论分析可得 P2、P3、P4 保护的阻抗分别为

$$Z_{P2} = -0.004j \quad (18)$$

$$Z_{P3} = 0.004j \quad (19)$$

$$Z_{P4} = -0.004j - 0.004j + 0.0005 + 0.008j = 0.0005 \quad (20)$$

通过对比理论分析和仿真计算阻抗结果, 其存在些许误差的原因是: (a) 仿真计算中小结点和电容中间有小电抗(约为 $0.0001j$); (b) 站点 C 运行有并列线路容抗。两者的结论相互印证。

另外根据过原点的动作阻抗圆(如图 7)可知: 不论是理论分析和仿真计算, 均能得到: P2 保护会出现拒动, 而 P3、P4 保护会误动。

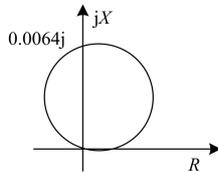


图 7 P2、P3、P4 距离 I 段阻抗动作圆示意图

Fig. 7 Zone 1 impedance circle of distance protection at point P2, P3 and P4

3.1.2 相邻线路

考虑对装有串联补偿电容线路的相邻线路影响最严重的运行方式, 即如图 8 所示, CD 一线检修退出运行, $k2$ 点为三相故障点。

下面以 $k2$ 三相接地故障为例, P1、P2 处分别以上面提出的仿真方法及理论分析方法分别计算测

量阻抗。

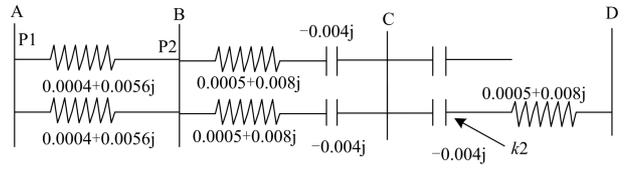


图 8 A 侧最严重运行方式示意图

Fig. 8 The most serious operation mode for point A

(1) 短路电流仿真方法(B 不考虑电源助增, 即 B 站电厂不开机)。

$$I_{P1} = 20.56 \angle -59.9 \quad (21)$$

$$U_{P1} = 0.0499 \angle 5.5 \quad (22)$$

$$I_{P2} = 20.56 \angle 120.0 \quad (23)$$

$$U_{P2} = 0.0708 \angle -139.7 \quad (24)$$

即 P1、P2 保护计算出的阻抗分别为

$$Z_{P1} = U_{P1} / I_{P1} = 0.0024 \angle 65.4 = 0.001 + 0.0022j \quad (25)$$

$$Z_{P2} = U_{P2} / I_{P2} = 0.0034 \angle 100.3 = -0.0006 + 0.0033j \quad (26)$$

(2) 理论分析方法(B 不考虑电源助增, 即 B 站电厂不开机)。

按图 8 所示, 可等效为图 9。

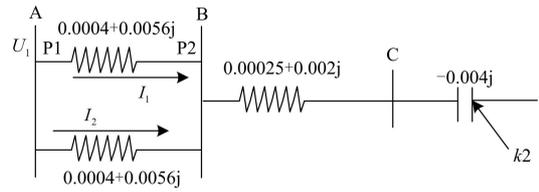


图 9 等效阻抗图

Fig. 9 Equivalent impedance diagram

当由图 9 可得如下关系式:

$$U_1 - (0.0004 + 0.0056j) I_1 = U_1 - (0.0004 + 0.0056j) I_2 = \quad (27)$$

$$(I_1 + I_2) \times (0.00025 + 0.002j - 0.004j)$$

由式(27)可知, P1、P2 点的测量阻抗为

$$Z_{P1} = U_1 / I_1 = 0.0009 + 0.0016j \quad (28)$$

$$Z_{P2} = [U_1 - (0.0004 + 0.0056j) I_1] / (-I_1) = -0.0005 + 0.004j \quad (29)$$

(3) 短路电流仿真方法(B 站考虑电源助增, 正常开机)。

$$I_{P1} = 22.10 \angle -54.4 \quad (30)$$

$$U_{P1} = 0.053 \angle -107.8 \quad (31)$$

$$I_{P2} = 22.03 \angle 125.6 \quad (32)$$

$$U_{P2} = 0.167 \angle -136.6 \quad (33)$$

即 P1、P2 保护计算出的阻抗分别为

$$Z_{P1} = U_{P1} / I_{P1} = 0.0024 \angle -53.4 = 0.0014 - 0.0019j \quad (34)$$

$$Z_{P2} = U_{P2} / I_{P2} = 0.0076 \angle 97.8 = -0.001 + 0.0075j \quad (35)$$

通过对比理论分析和仿真计算阻抗结果，其存在些许误差的原因：仿真计算中小结点和电容中间有小电抗(约为 0.0001j)。两者的结论相互印证。另外对比考虑 B 站助增电源结果可知，当 B 点考虑电源时，串补电容由于助增电源的影响变大，和 1.1 节的分析结论一致。

另外根据过原点的动作阻抗圆(图 10)可知，不论是理论分析和仿真计算(不考虑助增电源)，当 k2 发生金属性接地故障后，P1、P2 保护的测量阻抗均会进入动作圆而发生误动。仿真计算(考虑助增电源)时，P1、P2 的测量阻抗在分别在第四象限和第二象限动作圆外，不会误动，但是随着 k2 点向 D 站移动，P1、P2 的测量阻抗会移动至动作圆内而误动。

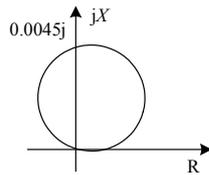


图 10 P1、P2 距离 I 段阻抗动作圆示意图

Fig. 10 Zone 1 impedance circle of distance protection at point P1 and P2

3.2 全系统扫描

采用 3.1 节介绍的方法，短路电程序扫描最严重故障情况下，各个站点的电压和支路电流，及

所计算的测量阻抗如表 2 所示。

综合分析可得，距离 I 段保护受串补电容影响的站点范围如图 11 所示。

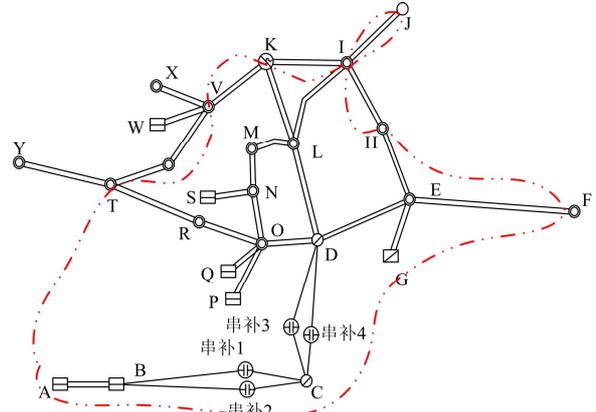


图 11 受串补电容影响的范围图

Fig. 11 Area in which the distance protection affected by the series compensation capacitor

图 11 中曲线内的站点均受串联补偿电容的影响，需要配置专门适用串联补偿电容的串补型线路保护或在运行中退出相应距离保护元件，以避免串联补偿电容对距离保护造成的误动或拒动。

4 结论

本文分别分析了串补电容对串补本线路和相邻线路距离保护的影响，进而提出了基于短路电流计算界定保护受串补电容影响范围的工程方法，该方法能够较准确地确定受影响的距离保护，进而为需要配置串补型保护的站点提供指导性意见；同时，本文通过部分站点阻抗的理论分析和仿真计算的结果相对比，通过对比分析印证了仿真方法的正确性。

表 2 BPA 仿真软件按文章仿真方法计算出各点电压及各支路电流

Table 2 Voltage and current calculated by using the simulation method on BPA

线路		线路首端电压		线路电流 (首端流向末端)		线路首端 测量阻抗		线路阻抗	
首端	末端	幅值	相角	幅值	相角	电阻	电抗	电阻	电抗
T	U	0.344 5	-48.436	1.931 1	-74.005	0.017 7	0.008 5	0.000 3	0.004 6
T	R	0.344 5	-48.436	6.935 3	-58.296	0.005 4	0.000 9	0.000 2	0.004 1
T	Y	0.344 5	-48.436	5.586 6	122.099	-0.006 7	-0.001 1	0.000 9	0.011
F	E	0.559 3	-37.564	4.319 5	-73.148	0.011 6	0.008 3	0.000 9	0.015 5
P	O	0.559 8	-117.603	3.304 2	-51.908	0.007 7	-0.017 0	0.000 9	0.012 2
O	Q	0.895 5	-128.884	4.232 2	124.597	-0.006 6	0.022 3	0.000 1	0.001 5
O	N	0.895 5	-128.884	6.878 6	128.005	-0.003 2	0.013 9	0.000 2	0.004 1
O	R	0.895 5	-128.884	7.572 7	122.088	-0.004 2	0.012 3	0.000 5	0.009 3
O	P	0.895 5	-128.884	3.201 7	127.518	-0.007 2	0.029 9	0.000 9	0.012 2
O	D	0.895 5	-128.884	24.78	-55.03	0.001 1	-0.003 8	0.000 2	0.003
D	L	1.549 2	-137.469	10.898 5	126.015	-0.001 8	0.015 5	0.000 5	0.010 3
D	O	1.549 2	-137.469	24.733 4	124.949	-0.000 9	0.006 8	0.000 2	0.003

续表 2

线路		线路首端电压		线路电流 (首端流向末端)		线路首端 测量阻抗		线路阻抗	
首端	末端	幅值	相角	幅值	相角	电阻	电抗	电阻	电抗
D	E	1.549 2	-137.469	9.813 6	122.705	-0.003 0	0.017 1	0.000 7	0.012 7
N	S	0.651 5	-122.681	3.138 4	120.894	-0.010 2	0.020 4	0.000 2	0.003 9
N	M	0.651 5	-122.681	2.304 5	133.927	-0.007 2	0.030 3	0.000 1	0.003 1
N	O	0.651 5	-122.681	6.917 6	-51.904	0.003 4	-0.009 8	0.000 2	0.004 1
U	T	0.312 6	-61.483	1.937 2	105.488	-0.017 3	-0.004 0	0.000 3	0.004 6
S	N	0.556 6	-117.044	3.160 7	-58.883	0.010 2	-0.016 5	0.000 2	0.003 9
L	K	0.556 6	-120.279	6.457	129.951	-0.003 2	0.008 9	0.000 2	0.004 1
L	I	0.556 6	-120.279	4.850 3	122.76	-0.005 7	0.011 3	0.000 2	0.005 2
L	M	0.556 6	-120.279	0.895 3	-40.637	0.012 3	-0.067 3	0.000 2	0.004 1
L	D	0.556 6	-120.279	11.022	-53.86	0.002 2	-0.005 1	0.000 5	0.010 3
M	N	0.588 7	-121.017	2.328 1	-45.926	0.007 2	-0.026 9	0.000 1	0.003 1
M	L	0.588 7	-121.017	0.865 8	139.02	-0.012 9	0.073 7	0.000 2	0.004 1
R	O	0.382 7	-89.737	7.635 3	-57.636	0.004 7	-0.002 9	0.000 5	0.009 3
R	T	0.382 7	-89.737	6.931 6	121.557	-0.005 2	0.003 2	0.000 2	0.004 1
V	K	0.299 1	-71.014	5.162	-71.524	0.006 4	0.000 1	0.000 2	0.004 1
V	U	0.299 1	-71.014	1.327 5	102.829	-0.024 6	-0.002 7	0.000 2	0.004 1
V	W	0.299 1	-71.014	0.934 2	119.057	-0.034 7	0.006 2	0.000 1	0.001 5
V	X	0.299 1	-71.014	2.898 5	108.057	-0.011 3	-0.000 2	0.000 4	0.008
W	V	0.298	-68.636	0.935 1	-60.591	0.034 7	-0.004 9	0.000 1	0.001 5
K	I	0.346 1	-104.777	1.648 4	13.882	-0.011 1	-0.020 3	0.000 1	0.002
K	L	0.346 1	-104.777	6.478 1	-49.959	0.0034	-0.004 8	0.000 2	0.004 1
K	V	0.346 1	-104.777	5.157 1	108.305	-0.006 2	0.004 0	0.000 2	0.004 1
I	K	0.372 5	-102.802	1.640 1	-165.967	0.011 3	0.022 3	0.000 1	0.002
I	H	0.372 5	-102.802	0.666 9	-8.363	-0.004 8	-0.061 3	0.000 4	0.005 1
I	L	0.372 5	-102.802	4.875 3	-57.043	0.005 9	-0.006 0	0.000 2	0.005 2
I	J	0.372 5	-102.802	4.757 5	108.598	-0.007 4	0.004 5	0.000 7	0.010 2
H	I	0.403	-102.8	0.642 9	171.803	0.005 5	0.068 7	0.000 4	0.005 1
H	E	0.403	-102.8	1.107 4	-27.939	0.010 5	-0.038 6	0.000 7	0.010 2
X	V	0.375 6	-36.883	2.887 2	-71.313	0.011 8	0.008 1	0.000 4	0.008
Q	O	0.842 8	-127.547	4.248 3	-55.336	0.006 7	-0.020 8	0.000 1	0.001 5
Y	T	0.724 7	0.198	5.536 4	-57.339	0.007 7	0.012 1	0.000 9	0.011
J	I	0.426 4	-35.765	4.754 3	-70.907	0.008 1	0.005 7	0.000 7	0.010 2
E	H	0.499 1	-106.645	1.053 1	151.377	-0.010 8	0.051 0	0.000 7	0.010 2
E	F	0.499 1	-106.645	4.281	106.817	-0.010 7	0.007 1	0.000 9	0.015 5
E	D	0.499 1	-106.645	9.968	-57.02	0.003 6	-0.004 2	0.000 7	0.012 7
E	G	0.499 1	-106.645	3.677 3	128.615	-0.008 5	0.012 3	0.000 1	0.002
G	E	0.447 9	-101.41	3.684 7	-51.298	0.008 6	-0.010 3	0.000 1	0.002

参考文献

- [1] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [2] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [3] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [4] 李园园, 郑玉平, 沈国荣. 串补电容对工频变化量距离保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 37-40.
- [5] 刘家军, 闫泊, 姚李孝, 等. 平行双回线中串补电容对零序电抗型距离保护的影响[J]. 电工技术学报, 2011, 26(7): 264-270.

LI Yuanyuan, ZHENG Yuping, SHEN Guorong. Influence of series capacitor on incremental power frequency distance relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12): 37-40.

LIU Jiajun, YAN Bo, YAO Lixiao, et al. Influence of series compensation capacitor on zero-sequence reactance-type

distance protection in parallel double-circuit lines[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(7): 264-270.

[6] 毕洁廷, 哈恒旭. 串补电容对相量比较式距离继电器稳态影响的理论分析[J]. 继电器, 2007, 35(增刊): 50-53.
BI Jieting, HA Hengxu. The steady effect of series compensation capacitor on phasor-comparison distance relay[J]. Relay, 2007, 35(S): 50-53.

[7] 邹蕴韬, 谭亲跃, 朱建行, 等. 超高压线路串补电容的微机保护算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 45-49.
ZOU Yuntao, TAN Qinyue, ZHU Jianhang, et al. Microprocessor-based protection algorithm in UHV transmission lines with series compensated capacitor[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 45-49.

[8] 姚旭, 何方明, 索南加乐, 等. 工频变化量距离元件一些问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(16): 78-83.
YAO Xu, HE Fangming, SUONAN Jiale, et al. Some discussion on the fault component distance protection[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(16): 78-83.

[9] 马静, 曾惠敏, 林富洪. 一种基于分布参数模型的线路相间距离保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 32-36.
MA Jing, ZENG Huimin, LIN Fuhong. A phase distance relay principle based on distributed parameter line model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 32-36.

[10] 王向平. 串联电容补偿线路的继电保护设计研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(13): 41-44.
WANG Xiangping. Some suggestions on design of protection on the line with series compensation[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(13): 41-44.

[11] 陈福锋, 钱国明, 薛明军. 适用于串联电容补偿线路的距离保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(12): 61-66.
CHEN Fufeng, QIAN Guoming, XUE Mingjun. Research on new principle of distance protection adapted to series compensated lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(12): 61-66.

[12] 郑涛, 高超, 赵萍. 基于单端信息量的特高压串补线路距离保护方案[J]. 华北电力大学学报, 2014, 41(1): 60-65.
ZHENG Tao, GAO Chao, ZHAO Ping. A fault location scheme of UHV series compensated line based on one-terminal information[J]. Journal of North China Electric Power University, 2014, 41(1): 60-65.

[13] 李振动, 赵青春, 董杰, 等. 串联补偿对差动保护的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 139-143.
LI Zhendong, ZHAO Qingchun, DONG Jie, et al. Research on influence of series compensation on differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 139-143.

[14] 刘宇, 邵能灵, 范春菊, 等. 含串补电容的超高压输电线路暂态保护判据[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(3): 1-6.
LIU Yu, TAI Nengling, FAN Chunju, et al. Transient relay protection criterion for EHV transmission line with SCC[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014, 26(3): 1-6.

收稿日期: 2015-05-12; 修回日期: 2015-08-26

作者简介:

刘毅(1985-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为继电保护与安全稳定控制; E-mail: laya1226@163.com

刘汉伟(1964-), 男, 教授高级工程师, 研究方向为继电保护与安全稳定控制;

梅涛(1970-), 男, 高级工程师, 研究方向为继电保护与安全稳定控制。

(编辑 姜新丽)