

## 带同杆双回线的T型支接线的故障测距的研究

翁舟波<sup>1,2</sup>, 田羽<sup>1</sup>, 范春菊<sup>1</sup>, 邝宏<sup>1</sup>

(1.上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2.浙江电力职业技术学院, 浙江 杭州 310015)

**摘要:** 针对T型线路中出现同杆双回线的线路结构, 提出了首先做故障分支判定, 然后进行精确测距的新方法。当某支路发生故障时, 求取各支路保护安装处的突变量, 通过正序网络图, 计算两个必要参数用于判别故障支路, 区分出非同杆双回线故障、同杆双回线的跨线故障, 以及同杆双回线的单回线故障。在此基础上, 将非故障支路化简合并, 并对同杆双回线故障以及非同杆双回线故障进行分别测距。该方法不仅能够对单回线准确测距, 而且针对双回线, 也保证了故障测距的精确性, 一定程度上克服了T型线路中出现双回线给测距带来的困难。大量的ATP仿真结果表明故障测距的精度基本上不受故障支路、故障类型、系统运行方式、故障点过渡电阻等因素的影响。

**关键词:** T型线路; 双回线; 六序分量法; 故障测距

## Study of fault location for teed lines with parallel branches

WENG Zhou-bo<sup>1,2</sup>, TIAN Yu<sup>1</sup>, FAN Chun-ju<sup>1</sup>, KUANG Hong<sup>1</sup>

(1.Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240,China;

2.Zhejiang Electric Power Vocation Technological College, Hangzhou 310015,China)

**Abstract:** A new fault location method is proposed in this paper for the teed lines with parallel branches based on the determinant of the faulted branch. When one branch is fault, the faulted electrical measurements are calculated. Based on the positive network, two necessary parameters are calculated to distinguish the faulted branch, namely, the fault of the non-parallel branch, cross fault of the parallel branch and the one-line fault of the parallel branch. Then, the non-fault branches are united and the fault location for the faulted branch can be implemented. The location method can locate the faulted point not only for the single-branch but also for the parallel branch, overcoming the difficulty of fault location when parallel branch occurs in the teed lines. A lot of ATP simulation results indicate that the fault location accuracy is not influenced by such factors as faulted branch, faulted type, generation mode and the faulted resistance.

**Key words:** teed lines; parallel transmission lines; six-sequence component method; fault location

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)13-0006-05

## 0 引言

随着电力系统的发展, T型线路较多地出现在高压输电线路中。而同杆双回线因其能更好地解决走廊宽度不够以及大功率输送的问题, 在高压输配电工程中得到日益广泛的应用。同杆双回线与其它线路互连, 形成带同杆双回线的T型线路。这种线路具有输电负荷重的特点, 一旦故障亟需准确定位, 快速排除故障。而事实上由于这种线路接线的复杂性, 测距具有一定的难度。

目前, 有关于单回线T型线路的故障支路判断及故障测距的方法<sup>[1, 2]</sup>, 也有同杆双回线的故障测距方法<sup>[1-13]</sup>, 但考虑到带有同杆双回线的T型支接线路的支路判定和故障测距的研究则不多。而实际运行中, 含有同杆双回线的T型线路故障测距很重要, 故障分支判定和故障测距也更复杂。本文采用故障发生时的三端电气突变量, 求取两个电压比值

参数, 从而判定故障分支, 并且能够判定同杆双回线的故障类型, 即单线故障和跨线故障。在此基础上, 分别进行故障测距。当故障发生在同杆双回线支路时, 利用同杆双回线的六序分量中的同序正序量进行故障测距, 从而解决了整个复杂结构T型线路的测距问题。

1 系统图及故障支路判别<sup>[14]</sup>

图1所示T型线路, 其中XT为同杆双回线支路, 包括I回线和II回线; YT, ZT均为单回线支路。

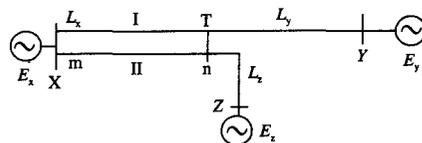


图1 系统接线图

Fig.1 System diagram of parallel teed line

故障发生后, 故障判别的步骤如下 (依据见参考文献[16]):

1) 提取三端测距装置处的电气量的突变量, 且计算突变正序量, 分别记为:

$$U^1_I, I^1_I, U^1_{II}, I^1_{II}, U^1_Y, I^1_Y, U^1_Z, I^1_Z。$$

2) 分别沿 XIT, XIIIT, YT, ZT 四条线路推算支接点 T 点的正序电压, 得到的电压表示为  $U^1_{II}$ 、

$U^1_{IY}$ 、 $U^1_{IZ}$ , 推算公式如下。

$$\begin{cases} U^1_{II} = (I^1_I - U^1_I \frac{Y^1_I}{2})(Z^1_I + Z^1_{Is} // \frac{2}{Y^1_I}) \\ U^1_{IY} = (I^1_Y - U^1_Y \frac{Y^1_Y}{2})(Z^1_Y + Z^1_{Ys} // \frac{2}{Y^1_Y}) \\ U^1_{II} = (I^1_{II} - U^1_{II} \frac{Y^1_{II}}{2})(Z^1_{II} + Z^1_{IIs} // \frac{2}{Y^1_{II}}) \\ U^1_{IZ} = (I^1_Z - U^1_Z \frac{Y^1_Z}{2})(Z^1_Z + Z^1_{Zs} // \frac{2}{Y^1_Z}) \end{cases}$$

其中:  $Z^1_I, Z^1_{II}, Z^1_Y, Z^1_Z, Y^1_I, Y^1_{II}, Y^1_Y, Y^1_Z$  分别为 XIT, XIIIT, YT, ZT 线路的正序阻抗和正序导纳;  $Z^1_{ms}, Z^1_{ys}, Z^1_{zs}$  分别为 X, Y, Z 端的正序等值系统阻抗。

3) 对上述各电压求差, 得到支接点电压差值, 即:

$$\Delta U^1_{IY} = U^1_{II} - U^1_{IY}, \Delta U^1_{IY} = U^1_{II} - U^1_{IY}$$

$$\Delta U^1_{III} = U^1_I - U^1_{II}, \Delta U^1_{IZ} = U^1_{II} - U^1_{IZ}$$

$$\Delta U^1_{IIz} = U^1_{II} - U^1_{IZ}$$

4) 求取参数

$$K = \left| \frac{\Delta U^1_{IY} + \Delta U^1_{IY}}{\Delta U^1_{III}} \right| + \left| \frac{\Delta U^1_{IZ} + \Delta U^1_{IIz}}{\Delta U^1_{III}} \right|, \text{ 参数}$$

$$P = \frac{|\Delta U^1_{IY}| + |\Delta U^1_{IY}|}{|\Delta U^1_{IZ}| + |\Delta U^1_{IIz}|}, \text{ 这两个参数作为故障支路的主要判据, 判据确立的依据见下文。}$$

5) 运用六序分量法分解同杆双回线的电流, 求取反序正序电流值, 作为备用判据。

6) 整定两个常数, 本文仿真中  $k_1=180.0$  和  $k_2=18.1$ , 整定方法将在下面叙述。

7) 根据图 2 所示流程图, 得到故障支路判定结果。

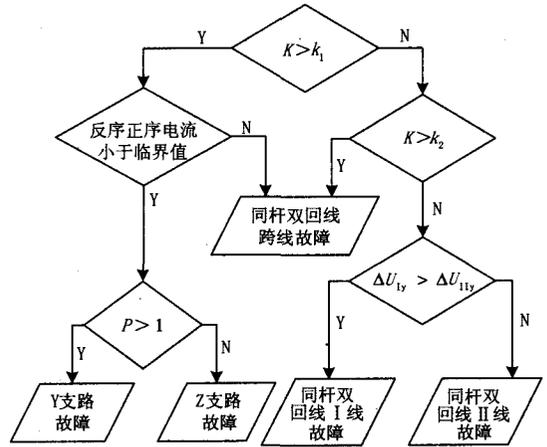


图 2 故障判别流程图

Fig.2 Flow chart of fault discriminating

上述的故障支路判断方法是基于同杆双回线的六序分量法的, 由于六序分量是完全独立的, 所以, 六序分量的使用可以保证故障支路判断的精度不受同杆双回线支路的线间互感的影响<sup>[14]</sup>。利用电压差比值可以有效区分非同相故障时的各种类型的故障; 引入反序正序电流可以进行同杆双回线的同名相跨线故障的故障支路判别。

## 2 测距算法原理

### 2.1 信号的预处理

故障测距的过程中, 基频分量的提取非常重要, 本文采用的方法是前置模拟带通滤波器加上傅氏滤波的方法, 详细的方法, 参见文献[15]; 为了克服负荷电流对测距的影响, 本文的测距采用了故障后的电气量, 方法是故障后的各相电压, 各相电流减去故障前的相应的电压、电流<sup>[16]</sup>; 利用突变量的正序电压、电流, 可以求出各侧的等值的系统正序阻抗<sup>[16]</sup>。

### 2.2 单回线支路故障测距

以图 1 所示的系统为例, 当单回线 YT 支路发生短路时, 对 T 型线路的正序等值电路图进行简化<sup>[10]</sup>, 将非故障支路 XT 和 ZT 合并, 则 T 型线路故障测距转化为双端故障测距, 从 Y 端和 T 端分别计算故障点 F 的电压, 在故障点处, 两边的计算电压取模值相等, 即为 YT 支路的故障测距方程。

从 XI, XII, Z 三端分别计算 T 点的故障附加电压正序分量, 即  $U^1_{II}$ ,  $U^1_{IY}$ ,  $U^1_{IZ}$ 。因为 XT 和 ZT 支路为正常运行状态, 理论上三者值应相等, 均等于 T 点的故障附加电压的正序分量。考虑到数据、计算等误差, 取三者的平均值作为支接点 T 的正序电压故障附加分量  $U^1_T$ 。

合并后 T 点的电流故障附加分量为:

$$I_T^1 = I_{I-}^1 - (U_{I-}^1 + U_{I'}^1) \frac{Y_1^1}{2} + I_{II-}^1 - (U_{II-}^1 + U_{II'}^1) \frac{Y_{II}^1}{2} +$$

$$I_z^1 - (U_z^1 + U_{I'}^1) \frac{Y_z^1}{2}$$

线路 XIT、XII T、ZT 的等效阻抗分别为：

$$Z_{xIt}^1 = \frac{2}{Y_x^1} // (Z_x^1 + Z_{xs}^1 // \frac{2}{Y_x^1})$$

$$Z_{xII T}^1 = \frac{2}{Y_x^1} // (Z_x^1 + Z_{xs}^1 // \frac{2}{Y_x^1})$$

$$Z_{zT}^1 = \frac{2}{Y_z^1} // (Z_z^1 + Z_{zs}^1 // \frac{2}{Y_z^1})$$

则得到测距方程如下：

$$\left| \begin{array}{l} (I_y^1 - U_y^1 \frac{Y_y^1}{2})(dZ_y^1 + Z_{ys}^1 // \frac{2}{Y_y^1}) \\ (I_T^1 - U_T^1 \frac{Y_y^1}{2})(l-d)Z_y^1 + \\ Z_{xIt}^1 // Z_{xII T}^1 // Z_{zT}^1 // \frac{2}{Y_y^1} \end{array} \right| = \quad (1)$$

其中： $d$  为保护安装处  $Z$  到故障点的距离占整条线路的比例， $Z_{ys}^1$  表示  $Y$  支路测距安装处的系统的等值的正序阻抗，上述方程的两边对参数  $d$  均具有良好的单调性，所以，采用一维搜索的方法求取  $d$  值<sup>[10]</sup>；由  $d$  可以得出故障点到测距装置安装处的距离。

### 2.3 双回线支路故障时的故障测距

对于同杆双回线非跨线故障，为了解决同杆双回线的线间耦合问题，故障测距不用正序量，改用同序正序分量，因为同序正序电气量完成了线间的互感的解耦<sup>[6]</sup>。所以，必须求取同杆双回线故障时的两侧的同序正序量，同序正序电气量的求解方法可以参见文献<sup>[6]</sup>。

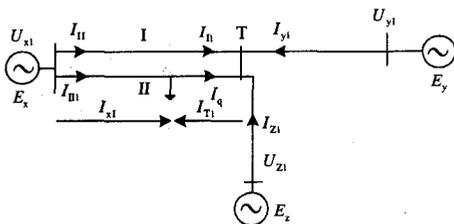


图3 双回线故障两端测距电气量求法

Fig.3 Calculating method in a single line fault

X 端同序正序电压和同序正序电流分别为：

$$U_x^{tz} = U_x^1, I_x^{tz} = (I_{xI}^1 + I_{xII}^1) / 2.$$

T 端的同序正序量需要计算得到。方法如下：首先根据  $Y$ 、 $Z$  线路计算 T 节点的电压，即上文中的  $U_{Ty}^1$ ， $U_{Tz}^1$ ，为了保证精确性，可以取两者的平均值，即  $U_T^1 = (U_{Ty}^1 + U_{Tz}^1) / 2$ ，且端点 T 处同序正序电压等于正序电压，即

$$U_T^{tz} = U_T^1 \quad (2)$$

由图 3 的电流流向图可以看出，同序正序电流为

$$I_T^{tz} = (I_y^1 + I_z^1) / 2 \quad (3)$$

分别用同杆双回线的两端的同序正序电压和同序正序电流故障分量，求故障点 F 处过渡电阻上的故障电压，考虑分布电容电流后两者相等，即可得如下测距方程：

$$\left| \begin{array}{l} (I_x^{tz} - dY_x^{tz} U_x^{tz}) [Z_{xI}^{tz} // \frac{1}{dY_x^{tz}} + dZ_x^{tz}] \\ (I_T^{tz} - (l-d)Y_x^{tz} U_T^{tz}) \\ [Z_{xII}^{tz} // Z_{zT}^{tz} // \frac{1}{(l-d)Y_x^{tz}} + (l-d)Z_x^{tz}] \end{array} \right| = \quad (4)$$

方程 (4) 只含未知数  $d$ ，取模值相等后，方程式两端的电压都是  $d$  的单调函数，对  $d$  做一维搜索可解。值得注意的是，这里的计算需要考虑系统阻抗修正。因为六序网中，双回线以外的系统，同序正序电流是线路电流的 2 倍，所以各序网图中系统阻抗要增加 1 倍<sup>[5]</sup>。经过以上的修正后，才能够得到精确的计算结果。其中脚标  $tz$  表示同序正序量， $tf$  表示同序负序量。

### 3 测距算法的验证

为验证本算法的精度，用 EMTP 仿真。仿真模型见图 1 所示，参数见文献<sup>[14]</sup>。

表 1 表示了 Y 分支单回线各种故障类型的测距结果。

在 ATP 仿真模拟中分别对故障分支 20%，50%，90% 处的各种故障进行了模拟。接地的过渡电阻模拟了 10 Ω，100 Ω，300 Ω 三种类型，相间过渡电阻则均用 5 Ω，误差则是测距结果与实际故障距离的差和故障分支线路总长度的比值。

测距结果表明本算法不受过渡电阻、故障类型和故障距离的影响，在过渡电阻变化时，测距精度

变化很小。而且, 即使过渡电阻很高, 算法仍能得到精确的测距结果。

表 1 Y 分支单回线故障时的测距结果

Tab.1 Location when Y faulting

故障类型	实际距离 /km	过渡电阻 /Ω	测距结果 /km	误差 /(%)
单相接地	20	10	19.65	-0.35
		100	19.78	-0.22
		300	19.44	-0.56
	50	10	50.12	0.12
		100	50.16	0.16
		300	49.55	-0.45
相间故障	90	10	90.12	0.12
		100	90.33	0.33
		300	90.45	0.45
	20	10	19.55	-0.45
		5	49.08	-0.92
		90	90.41	0.41
两相短路接地	20	10	18.82	-1.18
		100	19.14	-0.86
		300	19.28	-0.72
	50	10	48.44	-1.56
		100	48.77	-1.23
		300	48.9	-1.1
三相短路	90	10	90.413	0.413
		100	90.389	0.389
		300	90.39	0.39
	20	10	31.39	11.39
		5	61.58	11.58
		90	89.95	-0.05

表 1 的测距结果有一个缺陷, 即三相短路时在临近继电保护装置出口处的精度不是很高, 作者对三相故障进行了多次不同的仿真, 采用了不同的三相短路模式, 均没能很好地解决误差大的问题, 而且还发现 ATP 仿真短路时出现了不小的负序电流, 可能是计算误差引起的, 总之, 本测距算法对三相短路的测距精度不是很高。

表 2 表示 X 分支双回线故障时的故障测距结果。

从表 2 中可以看出双回线的测距结果不是非常理想, 精度显的不是很高。特别是继电保护装置出口处故障时的误差显得不是很理想。但从测距结果还是可以看出来, 本次测距基本能够解决双回线的各种故障类型的故障定位问题, 而且测距结果几乎不随过渡电阻变化而变化。因此这种针对 T 型接线 (含同杆双回线) 的故障测距算法具有一定的实用价值。

表 2 X 分支故障时的测距结果

Tab.2 Location when X faulting

故障类型	实际距离 /km	过渡电阻 /Ω	测距结果 /km	误差 /(%)
IAG	20	10	24.85	4.85
		100	25.51	5.51
		300	24.95	4.95
	50	10	54.3	4.3
		100	55.05	5.05
		300	54.59	4.59
IAIIBG	90	10	94.6	4.6
		100	94.8	4.8
		300	94.38	4.38
	20	10	16.61	-3.39
		100	18.56	-1.44
		300	19.07	-0.93
IABIIBG	50	10	46.27	-3.73
		100	47.93	-2.07
		300	48.39	-1.61
	90	10	88.85	-1.15
		100	89.79	-0.21
		300	90.05	0.05
IABG	20	10	16.31	-3.69
		100	18.3	-1.7
		300	18.8	-1.2
	50	10	47.25	-2.75
		100	48.59	-1.41
		300	49.02	-0.98
IAIIB	90	10	90.3	0.3
		100	91.02	1.02
		300	91.28	1.28
	20	10	19.81	-0.19
		5	49.13	-0.87
		90	90.7	0.7
IAIIBC	90	10	16.57	-3.43
		5	47.04	-2.96
		90	88.95	-1.05
	20	10	11.48	-8.52
		5	56.61	6.61
		90	91.32	1.32

更多的仿真结果显示, 测距精度不受各侧电压相位角影响。由于采用的是双端电气量的故障测距, 测距的方法是从两端计算得到的电压在故障点处相等, 所以, 测距的精度不受电源相角差的影响。仿真试验中, 将电源相角差设置成 50° 时, 仍然能够

得出较为满意的测距结果。不足之处在于同杆双回线跨线故障且存在一条线路为三相对称故障的情况下,误差会增大。另外,由于采用了突变正序分量以及突变同序正序电气量,该测距算法在原理上与故障点过渡电阻、故障类型以及故障前的潮流无关,避免了电力系统运行过程中许多不确定因素对测距精度的影响。

#### 4 结论

本文提出基于故障分支判定的复杂T型线路故障测距方法。当某支路发生故障时,根据各支路保护安装处的突变电压,电流,计算两个相关参数,这两个参数实质上是计算电压差的比值,它们反映了故障发生后电气量的改变情况,因而能够准确判别支路。明确故障支路后,分别使用正序网和同序正序网计算故障点位置。根据单回线和同杆双回线的特点,分别使用了对称分量法和六序分量法进行故障测距。大量的仿真试验证明,该方法可用来准确计算T型线路的故障位置。由于采用故障后的突变量进行支路判别的,判别精度不受过渡电阻的影响。由于同杆双回线本身固有的耦合的特点,该方法受线路参数不平衡影响不大,因此可以较大程度地满足高压及超高压电网复杂线路的故障测距需求。

#### 参考文献

- [1] Evrensoğlu C Y, Abur A, Fault Location for Teed Circuits with Mutually Coupled Lines and Series Capacitors[J]. Digital Object Identifier, 2003, (3):23-26.
- [2] Nagasawa T, Abe M, Otsuzuki N. Development of a New Fault Location Algorithm for Multi-terminal Two Parallel Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(3):1516-1532.
- [3] 林军, 林家锋. 基于传输线方程的高压输电线故障测距仪的研究[J]. 电网技术, 1999, 23(9): 63-65.  
LIN Jun, LIN Jia-feng, Fault Locator for High Voltage Transmission Line Based on Equation of Distributed Parameter Transmission Line[J]. Power System Technology, 1999, 23(9):63-65.
- [4] 李胜芳, 范春菊, 郁惟镛. 基于相量测量的输电线路故障测距新算法[J]. 电网技术, 2004, 28(17):28-32.  
LI Sheng-fang; FAN Chun-ju, YU Wei-yong. A New Phasor Measurement Based Fault Location Algorithm for Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2004, 28(17):28-32.
- [5] 郭付军, 林军. 用多个对应的后向神经网络进行同杆双回线故障识别及测距的模式[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 14-18.  
GUO Fu-jun, LIN Jun. Identification and Location of Fault on Double Circuit Tower by Multi-corresponding BP ANN Method[J]. Power System Technology, 2002, 26(10): 14-18.
- [6] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.  
GE Yao-zhong. New Types of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
- [7] 索南加乐, 王树刚, 陈福锋, 等. 利用单端电流量的同杆双回线准确故障定位研究[J]. 中国电机工程学报 2005, 25(23): 25-30.  
SUONAN Jia-le, WANG Shu-gang, ZHANG Chao, et al. An Accurate Fault Location Algorithm for Parallel Translation Lines Using One-Terminal Current [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(23):25-30.
- [8] 宋国兵, 索南加乐, 许庆强, 等. 基于单端电流量的同杆双回线故障定位方法[J]. 继电器, 2004, 32(7):1-6.  
SONG Guo-bing, SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, et al. Fault Location for Parallel Transmission Lines on the Same Tower Based on One-terminal Current[J]. Relay, 2004, 32(7):1-6.
- [9] 李胜芳, 范春菊, 郁惟镛. 基于在线参数计算的同杆双回线的自适应故障测距[J]. 继电器, 2005, 33(3): 66-77.  
LI Sheng-fang, FAN Chun-ju, YU Wei-yong. Adaptive Fault Location Algorithm for Parallel Transmission Lines Based on Online Calculated Parameters[J]. Relay, 2005, 33(3): 66-71.
- [10] 李胜芳, 范春菊, 郁惟镛. T型支接线路的自适应故障测距算法[J]. 电工技术学报, 2004, 19(10):59-64.  
LI Sheng-fang, FAN Chun-ju, YU Wei-yong Adaptive Fault Location Method for Three-Terminal Transmission Line[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(10): 59-64.
- [11] 索南加乐, 吴亚萍, 王树刚, 等. 基于分布参数的同杆双回线跨线故障准确测距原理[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5): 39-40.  
SUONAN Jia-le, WU Ya-ping, WANG Shu-gang, et al. New Accurate Fault Location Algorithm for Parallel Lines on The Same Tower Based On Distribute Parameter[J]. Proceedings of the Csee, 2003, 23(5):39-43
- [12] Kawady T. A Practical Fault Location Approach for Double Circuit Transmission Lines Using Single End Data[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(4).
- [13] 赵永娟, 曹小拐, 刘万顺. 同杆并架双回线准确参数未知时的故障测距新算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 72-76.  
ZHAO Yong-xian, CAO Xiao-guai, LIU Wan-shun. New Fault Location Algorithm for Double Transmission Lines on a Same Tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4):72-76.
- [14] 田羽, 范春菊, 龚震东. 带同杆双回线的T型线路故障分支判定算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(21):71-76.

- 2002,6(6):566-579.
- [10] Chan C Y, Chan T K, Ni Y X, et al. A Decentralized Approach for Operating Reserve Procurement[A]. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on APSCOM[C]. Hong Kong:2003.
- [11] 孟祥星,韩学山.不确定性因素引起备用的探讨[J].电网技术,2005,29(1):30-34.  
MENG Xiang-xing, HAN Xue-shan. Discussion on Reserve Caused by Uncertain Factors[J]. Power System Technology, 2005, 29(1):30-34.
- [12] 中国南方电网广东省广电集团公司生产技术部广东省电力实验研究所.跨区域互联电网运行与建设规划研究[M].中国电力出版社, 2004.
- [13] 袁晓辉,张双全,王金文,等.拟梯度遗传算法在水火电厂内经济运行中的运行研究[J].电网技术, 2000, 24(12):66-69.  
YUAN Xiao-hui, ZHANG Shuang-quan, WANG Jin-wen, et al. Application of Quasi-gradient Genetic Algorithm to Economic Operation of Hydropower Station[J]. Power System Technology, 2000, 30(18):64-68.
- [14] 余健明,吴海峰,杨文宇.基于改进多种群遗传算法的配电网规划[J].电网技术,2005,29(7):36-40.  
YU Jian-ming, WU Hai-feng, YANG Wen-yu. An Improved Poly-population Genetic Algorithm Based on Power Distribution Network Planning[J]. Power System Technology, 2005, 29(7):36-40.
- [15] 夏可清,赵明奇,李扬.用于多目标无功优化的自适应遗传算法[J].电网技术,2006,30(13):55-60.  
XIA Ke-qing, ZHAO Ming-qi, LI Yang. A Self-adaptive Genetic Algorithm for Multi-objective Reactive Power Optimization[J]. Power System Technology, 2006, 30(13):55-60.
- [16] 吴至复,曾鸣,刘宝华,等.电力市场中的水火电优化调度模型及其应用[J].电网技术,2006,30(15):45-49.  
WU Zhi-fu, ZENG Ming, LIU Bao-hua, et al. An Optimal Dispatching Model of Hydro-thermal Power System in Market Environment and Its Application[J]. Power System Technology, 2006,30(15):45-49.
- [17] 吴杰,卢志刚,杨斌,等.基于改进并行遗传算法的电网状态估计[J].电网技术,2006,30(18):64-68.  
WU Jie, LU Zhi-gang, YANG Bin, et al. Power Network Status Estimation Based on Improved Parallel Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2006, 30(18):64-68.
- [18] 熊信银,吴耀武.遗传算法及其在电力系统中的应用[M].华中科技大学出版社, 2002.
- [19] Moya O E. Spinning Reserve, Load Shedding, and Economic Dispatch Solution by Bender's Decomposition[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(1): 384-388.
- [20] Aruldos Albert Victoire T, Ebenzer Jeyakumar A. Reserve Constrained Dynamic Dispatch of Units With Valve-Point Effets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1273-1282.
- [21] Lee F N, Lemonidis L, Liu K C. Priced-based Ramp-rate Model for Dynamic Dispatch and Unit Commitment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(3): 30-35.
- [22] Gan D Q, Litvinov E. Energy and Reserve Market Designs with Explicit Consideration to Lost Opportunity Costs[J]. IEEE Trans. Power Syst, 2003, 18(1): 53-59.
- [23] Doherty R, O'Malley M. A New Approach to Qualify Reserve Demand in Systems With Significant Installed Wind Capacity[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(2): 587-594.

收稿日期: 2006-12-19; 修回日期: 2007-03-28

作者简介:

史美娟(1980-),女,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为电力系统运行与分析;E-mail:shi.meijuan@163.com

唐冬雷(1964-),男,副教授,从事教学管理和电力系统自动化研究;

吴杰康(1965-),男,工学博士后,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统分析与在线监控技术、电力市场、电能质量检测与控制、电力系统智能检测与智能控制、配电自动化、电力系统智能仪表的研究。

(上接第10页 continued from page 10)

- TIAN Yu, FAN Chun-ju, GONG Hen-dong. Faulted Line Selecting Method of T Circuit of Parallel Transformer with Controllable Load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(21):71-76.
- [15] 范春菊,郁惟镛.基于基频电气量的输电线路故障测距的滤波探讨[J].继电器, 2004,32(4):36-39.
- [16] FAN Chun-ju, CAI Hua-rong, YU Wei-yong. Application of Six-Sequence Fault Components in Fault Location for Joint Parallel Transmission Line[J]. Relay, 2005, 10(2): 247-253.

收稿日期: 2006-01-29; 修回日期: 2007-01-10

作者简介:

翁舟波(1971-),男,讲师,工程硕士,从事继电保护教学及研究工作;E-mail:wzb2008@hzcnc.com

范春菊(1967-),女,副教授,博士,长期从事人工智能在继电保护及综合自动化中应用的研究及教学工作;

田羽(1979-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护及综合自动化。