

# 一种基于方向行波的平行双回线保护方案

王兴国, 黄少锋, 刘千宽

(华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京 102206)

**摘要:** 在分析故障后电气量特征的基础上, 提出了一种基于方向行波的平行双回线保护方案, 利用线路两侧方向行波之间的关系判别区内、区外故障和故障线路, 该方案可以保护线路全长, 不受母线出线数目的影响, 在双回线单回运行时, 可以正确动作。与传统基于工频量的保护相比, 动作速度快, 不受 CT 饱和和影响, 且不受负荷电流影响。仿真计算验证了该方案的可行性。

**关键词:** 电流行波; 方向行波; 平行双回线; 故障检测

## A relay scheme of double-circuit lines based on directional traveling wave

WANG Xing-guo, HUANG Shao-feng, LIU Qian-kuan

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Through analyzing the character of electric quantity after fault, a protection scheme of double-circuit lines is presented based on directional traveling wave, which utilizes characters of directional traveling wave of two ends of lines to identify internal, external fault and fault line. This scheme can protect the whole line and is unlimited to lines number of bus. It can act correctly in the situation of one line operation of double-circuit lines. Comparing with the protection using main frequency quantity, it not only acts rapidly and is immune to CT saturation. The simulation verifies the feasibility of scheme.

**Key words:** current traveling wave; directional traveling wave; double-circuit lines; fault detection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)21-0007-05

## 0 引言

在电力系统平行双回输电线路中, 基于工频电流量的横差保护被广泛的采用<sup>[1~5]</sup>, 该保护利用单端量, 无需额外通道, 运行维护方便。它的缺点是只能用于电源侧, 不能用于非电源侧, 存在较大的相继动作区, 由于采用工频量, 所以也存在动作时间较长, 受 CT 饱和影响等缺点。

行波保护利用输电线路发生故障后产生的行波进行故障判别, 与传统基于工频量的保护相比, 具有动作速度快, 不受系统振荡等因素的影响, 为继电保护开辟了新思路。鉴于行波电流极性比较式纵联保护在双回线一回故障时, 另一回线会误动<sup>[6]</sup>。文献[7]提出基于电流行波的双回线保护方案, 采用差电流作为判据, 该判据易受行波衰减影响。文献[8]提出了基于电流行波的输电线路横差保护, 判据简明, 实现方便, 但是在双回线作单回运行时,

判据失效。文献[9]提出了利用初始电流行波之后的第二个行波信号极性来选线, 但是行波信号的极性会受双回线路长度不等的影响, 容易造成误判。

本文分析了双回线发生各种故障情况下的电流行波和方向行波各自的特点, 提出了一种利用初始电流行波和方向行波的平行双回线保护方案, 该保护方案克服了行波电流极性比较式纵联保护的缺点, 不受母线出线数目的影响, 可以保护线路全长, 动作速度快, 不受 CT 饱和、电力系统振荡的影响, 并且与负荷电流大小无关, 可以安装在非电源侧。

## 1 故障分析

### 1.1 典型接线方式

由于母线出线数目对行波的影响很大, 这里先讨论电力系统中双回线的几种典型接线方式及其行波特点, 接线方式见图 1。图 2 是它们的附加故障网络图。

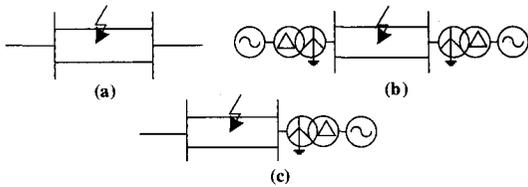


图 1 典型接线方式  
Fig.1 Typical cases of double-circuit lines

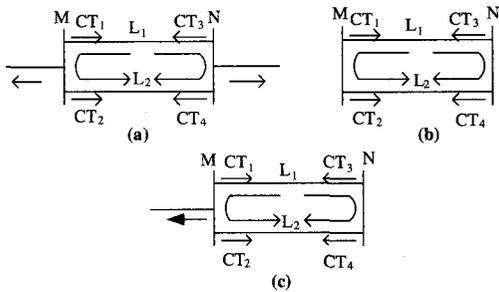


图 2 附加故障网络图  
Fig.2 Diagram for derivative fault network

1.2 母线 M 出线大于 2 条，母线 N 出线大于 2 条

本文重点对图 1(a)接线进行分析，为了方便起见，将 CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub>, CT<sub>3</sub>, CT<sub>4</sub> 检测到的初始电流行波分别记为 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>，令 I<sub>1</sub>' = |I<sub>1</sub>| - |I<sub>2</sub>|，I<sub>2</sub>' = |I<sub>3</sub>| - |I<sub>4</sub>|，假设内部故障发生在线路 L<sub>1</sub>，母线 M 侧反射系数为 α<sub>m</sub>，折射系数为 β<sub>m</sub>，母线 N 侧反射系数为 α<sub>n</sub>，折射系数为 β<sub>n</sub>，线路 L<sub>1</sub> 从故障点传来的前行波记为 i<sub>f1</sub>，正向行波记为 S<sup>+</sup> = 0.5 × (U + I · Z<sub>c</sub>)，反向行波记为 S<sup>-</sup> = 0.5 × (U - I · Z<sub>c</sub>)，规定母线指向线路为正方向。设母线 M 侧接有 m+2 (m>0) 条波阻抗为 Z<sub>c</sub> 的输电线路，母线 N 侧接有 n+2 (n>0) 条波阻抗为 Z<sub>c</sub> 的输电线路。设 4 个故障点(见图 3)，分别是 F<sub>1</sub> (M 侧反向区外)，F<sub>2</sub>(线路 L<sub>1</sub> 中部)，F<sub>3</sub>(线路 L<sub>1</sub> 始端)和 F<sub>4</sub>(母线 M)。

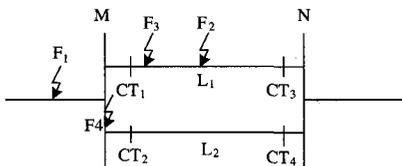


图 3 平行双回线故障示意图  
Fig.3 Diagram for fault of double-circuit lines

1.2.1 区外故障

母线 M 侧反方向区外 F<sub>1</sub> 处故障，见图 4。

这种情况下，M 侧电流互感器 CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>2</sub> 测得的电流初始行波极性相同，幅值相等，I<sub>1</sub>' = 0，

线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 长度不确定，所以 CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>3</sub> 测得的电流初始行波极性不确定，线路 L<sub>2</sub> 情况类似，且线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 的 M 侧只检测到正向行波 S<sup>+</sup>。

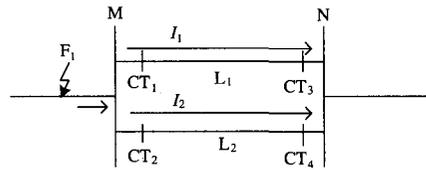


图 4 区外故障行波示意图

Fig.4 Traveling wave of external fault

1.2.2 区内故障 (中部)

故障发生在线路 L<sub>1</sub> 的中部 F<sub>2</sub> 处，即非首端和末端，如图 5 所示。

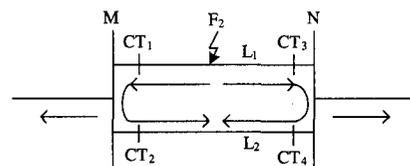


图 5 区内故障 (中部) 行波示意图

Fig.5 Traveling wave of internal fault in middle of lines

在这种情况下，对于线路 L<sub>1</sub>，CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>3</sub> 测得的电流初始行波极性相同；对于线路 L<sub>2</sub>，CT<sub>2</sub> 和 CT<sub>4</sub> 测得的电流初始行波极性相同。CT<sub>1</sub>，CT<sub>2</sub> 检测到的电流初始行波极性相反，且线路 L<sub>1</sub> 同时存在正向行波 S<sup>+</sup> 和反向行波 S<sup>-</sup>，线路 L<sub>2</sub> 只存在正向行波 S<sup>+</sup>。

CT<sub>1</sub> 测得的电流初始行波 I<sub>1</sub> 为从故障点传来的前行波 i<sub>f1</sub> 和其反射波的叠加，

$$I_1 = (\alpha_m - 1) i_{f1} \quad (1)$$

CT<sub>2</sub> 测得的电流初始行波 I<sub>2</sub> 为前行波 i<sub>f1</sub> 折射 L<sub>2</sub> 上的电流分量。

$$I_2 = \frac{1}{m+1} \beta_m i_{f1} \quad (2)$$

因为 β<sub>m</sub> = 1 - α<sub>m</sub>，所以

$$I_2 = -\frac{I_1}{m+1} \quad (3)$$

$$|I_1| - |I_2| > 0 \quad (4)$$

N 侧情况类似。

1.2.3 区内故障 (首端)

在线路 L<sub>1</sub> 正方向出口 F<sub>3</sub> 处发生金属性短路，如图 6 所示。

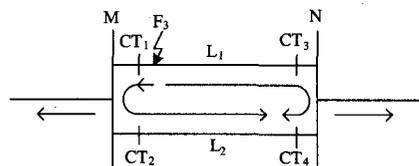


图 6 区内故障 (首端) 行波示意图

Fig.6 Traveling wave of internal fault near local bus

在这种情况下需分别考虑 M 侧和 N 侧保护动作情况。对于 M 侧, 由于故障发生在线路出口, 在很短的时间内, 故障点产生的行波在 F<sub>3</sub> 与母线 M 之间多次反射。所以 CT<sub>1</sub> 采集到的电流行波 I<sub>1</sub> 为前行波 i<sub>f1</sub> 与多次反射波的叠加。CT<sub>2</sub> 采集到的电流为 I<sub>1</sub> 折射到线路 L<sub>2</sub> 上的分量。设故障点电压为 U<sub>0</sub>, 该电压为故障分量, 则 i<sub>f1</sub> = U<sub>0</sub>/Z<sub>c</sub>, 在时刻 t, CT<sub>1</sub> 检测到的电流是 t 时刻前, 前行波 i<sub>f1</sub> 与其多次反射波的叠加。表达式为

$$I_1^{(k)} = -[1 - 2\alpha_m + 2\alpha_m^2 - \dots + (-1)^k 2\alpha_m^k] U_0 / Z_c = \quad (5)$$

$$\{1 - 2 \cdot [1 - \alpha_m + \alpha_m^2 - \dots + (-1)^k \alpha_m^k]\} i_{f1}$$

式中: k 为 t 时刻前, 前行波 i<sub>f1</sub> 在 F<sub>3</sub> 与母线 M 之间反射次数。

由于 |α<sub>m</sub>| < 1, 式 (5) 求极限可得:

$$I_1 = \lim_{k \rightarrow \infty} i^{(k)} = (1 - 2/(\alpha_m + 1)) i_{f1} = -(m+1) i_{f1} \quad (6)$$

CT<sub>2</sub> 测得电流行波为 I<sub>1</sub> 通过母线 M 折射到线路 L<sub>2</sub> 上的分量。

$$I_2 = \frac{1}{m+1} I_1 \quad (7)$$

此时 CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> 检测到的电流初始行波极性相反, 但 CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>3</sub> 检测到的电流行波极性可能相同 (L<sub>1</sub> > L<sub>2</sub>), 也可能相反 (L<sub>1</sub> ≤ L<sub>2</sub>); 线路 L<sub>1</sub> 同时存在正向行波 S<sup>+</sup> 和反向行波 S<sup>-</sup>, 线路 L<sub>2</sub> 只存在正向行波 S<sup>+</sup>, 且 |I<sub>1</sub>| > |I<sub>2</sub>|。

对于 N 侧, 故障点 F<sub>3</sub> 处产生的初始行波沿线路 L<sub>1</sub> 与 L<sub>2</sub> 传到 CT<sub>3</sub>, CT<sub>4</sub>, 若线路长度不同, CT<sub>3</sub>, CT<sub>4</sub> 之间极性关系不确定, 线路 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> 同时存在正向行波 S<sup>+</sup> 和反向行波 S<sup>-</sup>; I<sub>3</sub> 为电流初始前行波 i<sub>f1</sub>, I<sub>4</sub> = -I<sub>2</sub> =  $\frac{-1}{m+1} I_1 = i_{f1}$ , 若长度相等, 二者到达 N 侧时间相等, |I<sub>2</sub>| = |I<sub>3</sub>| - |I<sub>4</sub>| = 0。

### 1.2.4 母线故障

如图 6 所示, 当母线 F<sub>4</sub> 处发生故障时, M 母线上 CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub>, ..., CT<sub>m</sub> 测得的初始电流行波极性相同, I<sub>1</sub>' = 0, 且线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 的 M 侧只检测到的正向行波 S<sup>+</sup>, N 侧情况类似。

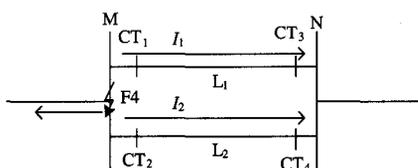


图 7 母线故障行波示意图

Fig.7 Traveling wave of bus fault

### 1.3 M 母线出线为 2 条, N 侧出线为 2 条

对于图 1(b)接线方式, 由图 2(b)可见, 线路 L<sub>1</sub> 内部故障时, CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> 测得初始电流行波极性相反, CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>3</sub> 检测到的初始电流行波极性不确定, CT<sub>3</sub> 和 CT<sub>4</sub> 检测到的电流行波极性相反, 且 |I<sub>1</sub>| = |I<sub>2</sub>|, I<sub>1</sub>' = 0, 线路 L<sub>2</sub> 只检测到前向行波 S<sup>+</sup>, 线路 L<sub>1</sub> M 侧只检测到反向行波 S<sup>-</sup>. 母线 M 故障时, CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> 测得初始电流行波极性相同, 线路 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> M 侧只检测到前向行波 S<sup>+</sup>, 且 I<sub>1</sub>' = 0。

### 1.4 M 母线出线大于 2 条, N 侧出线 2 条

对于图 1(c)接线方式, 由图 2(c)可见, 线路 L<sub>1</sub> 内部故障时, CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> 测得初始电流行波极性相反, CT<sub>1</sub> 和 CT<sub>3</sub> 检测到的电流行波极性不确定, CT<sub>3</sub> 和 CT<sub>4</sub> 检测到的电流行波极性相反, 线路 L<sub>1</sub> M 侧只检测到反向行波 S<sup>-</sup>, 线路 L<sub>2</sub> M 侧只检测到前向行波 S<sup>+</sup>, 且 |I<sub>1</sub>| = |I<sub>2</sub>|, I<sub>1</sub>' = 0。母线故障时, CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> 测得初始电流行波极性相同, 线路 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> M 侧只检测到前向行波 S<sup>+</sup>, 且 I<sub>1</sub>' = 0。

表 1 给出了不同位置故障时初始电流行波的极性和幅值。表 2 给出了不同位置故障时方向行波的特征。从中可以得出以下结论:

1) 当两侧母线出线数大于 2 时, 若发生反向区外故障, 线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> M 侧检测到的初始电流行波极性相同, 幅值相等, 只存在正向行波; N 侧检测到的初始电流行波极性相反; 由于线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 长度不确定, 所以线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 两侧初始电流行波极性不确定, 正、反向行波不确定。若母线 M 发生故障, 各出线初始电流行波极性相同, 幅值相等, 只存在正向行波。线路中部发生故障时, 线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> M 侧检测到的初始电流行波极性相反, 线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 两侧初始电流行波极性相同, 故障线路同时存在正向和反向行波, 正常线路只存在正向行波。线路始端发生区内故障时, 线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> M 侧检测到的初始电流行波极性相反, 若故障线路比正常线路短, 则方向行波特征与线路中部发生故障相同, 若故障线路比正常线路长, 则线路 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 两侧, 其中一侧同时存在正、反向行波, 另一侧只有正向行波, 对于故障线路, 近故障点侧同时存在正、反向行波, 正常线路反之。

2) 当两侧母线出线数等于 2 时, 母线故障时行波特征与 1) 类似, 线路中部发生故障时, 故障线路只有反向行波, 正常线路只有正向行波, 若故障线路比正常线路短, 则方向行波特征与线路中部发生故障相同, 若故障线路比正常线路长, 线路两侧, 其中一侧只有正向行波, 另一侧只有反向行波, 对于故障线路, 近故障点侧只有反向行波, 正常线路

反之。

3) 当两侧母线出线一侧大于 2, 另一侧等于 2 时, 行波特征结合 1) 和 2) 可得。

4) 单回运行区内故障时, 两侧母线出线大于 2 时, 线路两侧同时存在正、反向行波; 当母线出线等于 2 时, 线路两侧只存在反向行波。区外故障时, 线路近故障点侧只有正向行波, 另一侧只有反向行波。

表 1 不同位置故障时的初始电流行波的极性和幅值  
Tab.1 Characters of current traveling waves in different fault locations

故障位置	电流行波极性				电流行波幅值
	CT <sub>1</sub> ,CT <sub>2</sub>	CT <sub>1</sub> ,CT <sub>3</sub>	CT <sub>2</sub> ,CT <sub>4</sub>	CT <sub>3</sub> ,CT <sub>4</sub>	
反向区外	●	○	○	○	=0
中部	○	●	●	○	>0
首端	○	○	○	○	>0
末端	○	○	○	○	=0
母线	●	○	○	○	=0

注: 相同:● 相反:○ 不确定:○

表 2 各种故障下的方向行波特征

Tab.2 Characters of directional traveling wave in different fault

故障位置		CT <sub>1</sub>		CT <sub>3</sub>		CT <sub>2</sub>		CT <sub>4</sub>	
		S <sup>+</sup>	S <sup>-</sup>						
M>2	F2	●	●	●	●	●	○	●	○
	F3(L1>L2)	●	●	●	○	●	○	●	●
N>2	F3(L1≤L2)	●	●	●	●	●	○	●	○
	F2	○	●	○	●	●	○	●	○
M=2	F3(L1>L2)	○	●	●	○	●	○	○	●
	F3(L1≤L2)	○	●	○	●	●	○	●	○
M>2	F2	●	●	○	●	●	○	●	○
	F3(L1>L2)	●	●	○	○	●	○	○	●
N=2	F3(L1≤L2)	●	●	○	●	●	○	●	○
	F1	●	○	--	--	●	○	--	--
L1 单回运行区内故障	M>2, N>2	●	●	●	●	--	--	--	--
	M=2, N=2	○	●	○	●	--	--	--	--
	M>2, N=2	●	●	○	●	--	--	--	--
L1 单回运行 F1 故障		●	○	○	●	--	--	--	--

注: ●表示存在, ○表示不存在, --表示不确定

## 2 保护判据及保护流程

根据以上分析, 本文利用初始电流行波的极性和方向行波构成保护判据。设两个阈值  $\delta_1$  和  $\delta_2$ , 若  $S^+ > \delta_1$ , 表示正向行波  $S^+$  存在,  $S^+ < \delta_2$ , 表示正向行波  $S^+$  不存在,  $S^-$  类似。

当线路一侧同时检测到  $S^+$  和  $S^-$  或只检测到  $S^-$  时, 向另一侧发跳闸信号, 只检测到  $S^+$  时, 向另一侧发闭锁信号。

综上所述, M 侧保护流程为:

1) 采集母线上所有出线的初始电流, 电压行波信号, 进行相模转换, 对线模分量进行小波变换, 取模极大值;

2) 比较  $CT_1, CT_2, \dots, CT_m$  测得的初始电流行波极性, 如果极性相同则判为母线 M 故障, 若极性不相同, 转到 3)

3) 如果线路同时测得  $S^+$  和  $S^-$  或只测得  $S^-$ , 向对侧发跳闸信号, 若同时收到对侧跳闸信号, 则跳开本侧; 若收到对侧闭锁信号, 需要比较两侧方向行波出现的时间, 若本侧跳闸信号早于对侧闭锁信号, 则跳开本侧, 反之, 闭锁本侧。

4) 如果线路只测得  $S^+$ , 向对侧发闭锁信号, 若同时收到对侧闭锁信号, 则闭锁本侧, 若受到对侧跳闸信号, 需要比较两侧方向行波出现的时间, 若本侧闭锁信号早于对侧跳闸信号, 则闭锁本侧, 反之, 跳开本侧。

N 侧类似。

保护流程图见图 8。

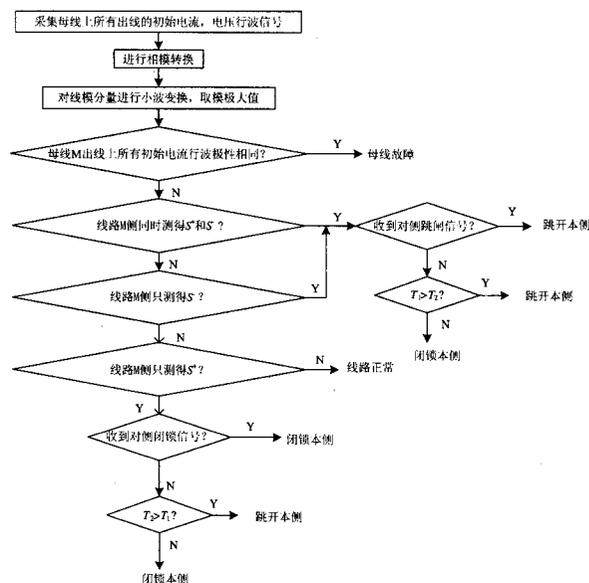


图 8 保护流程图

Fig.8 Algorithm of protection

## 3 仿真试验

利用 ATP 进行了仿真实验, 系统结构见图 9, 图中平行双回线长度分别为 100 km(线路 1)和 120 km(线路 2), M, N 侧分别装设了电流互感器。本文判据主要针对 M 侧, 在母线出线不同的情况下, 对线路区内, 区外, 母线等处故障进行了仿真。仿

真结果表明, 除单回运行和正向区内末端需要对侧跳闸信号配合外, 其他故障都可依靠 M 侧方向行波与电流行波进行正确判别。

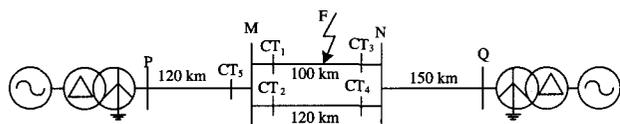


图 9 仿真示意图

Fig.9 Simulation diagram of double-circuit lines

表 3 列出了不同位置发生故障时的判别结果。

表 3 仿真结果

Tab.3 Simulation result

故障位置	判别结果
母线 M	母线故障
M 正向 3 km (线路 1)	线路 1 故障
M 正向 3 km (线路 1, M 母线出线为 2)	线路 1 故障
M 正向 75 km (线路 2)	线路 2 故障
M 正向 99 km (线路 1)	线路 1 故障
M 正向区外 (NQ)	区外故障

图 10 给出了 M 母线出线为 2 条时, 线路 1 和线路 2 的方向行波。这种情况下文献[8]的选线判据失效, 因为两条线路通过的电流绝对值相等。由于 CT<sub>1</sub>, CT<sub>3</sub> 检测的初始电流行波极性相同, CT<sub>2</sub>, CT<sub>4</sub> 检测的初始电流行波极性相同, 行波电流极性比较式纵联保护会误动。图 11 给出了 M 母线出线为 3 条, 故障发生在线路 1 距离 M 侧母线 20km 处时, 线路 1 和线路 2 的方向行波。在这种情况下, 文献[9]提出的判据将失效。本文提出的方案可以解决这些问题。

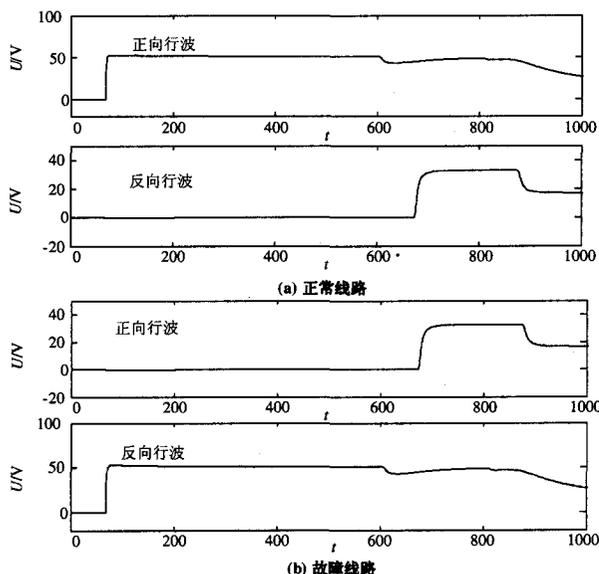


图 10 线路 1, 2 方向行波 (M 母线出线为 2)

Fig.10 Directional traveling of line 1 and 2 (number of bus M is 2)

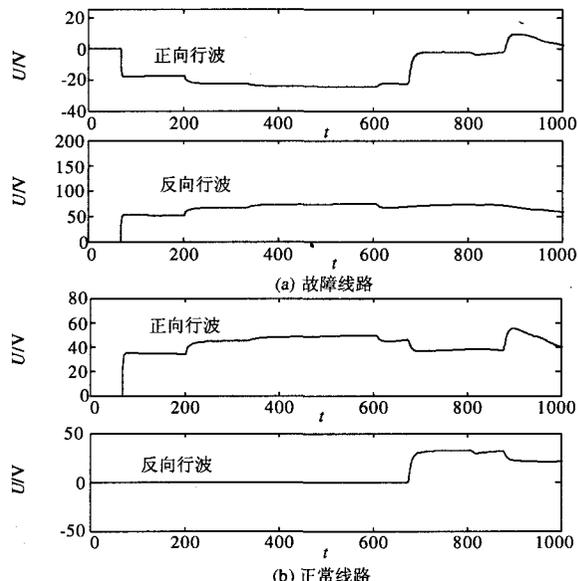


图 11 线路 1, 2 方向行波 (M 母线出线大于 2)

Fig.11 Directional traveling of line 1 and 2 (number of bus M is bigger than 2)

#### 4 结论

该方案利用初始电流行波极性识别母线故障, 利用线路两侧方向行波识别区内、外故障, 快速动作, 不受 CT 饱和和影响, 不受母线出线数目的影响, 可以保护线路全长。双回线单回运行时, 保护可以正确动作, 克服了电流极性方向保护可能误动的缺点, 也克服了横差保护的在线路单回运行时的拒动。空载合闸时需要将该保护推出运行。

#### 参考文献

- [1] 李志雷, 张举, 王兴国. 基于采样值相关法的双回线无通道保护[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6): 70-73. LI Zhi-lei, ZHANG Ju, WANG Xing-guo. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System Based on Correlation Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(6): 70-73.
- [2] 罗景忠, 沈国荣. 双回输电线路相继速动保护继电器[P]. 中国专利: CN 92213322.0, 1992-09-02. LUO Jing-zhong, SHEN Guo-rong. Accelerate Trip Relay for Double-line Circuit[P]. CNP: CN 92213322.0, 1992-09-02.
- [3] 董新洲, 李幼仪, 薄志谦. 双回线无通道保护研究(一): 故障分析和保护原理[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 53-56. DONG Xin-zhou, LI You-yi, BO Zhi-qian. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System: Part One Fault Analysis and Protection Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 53-56.

(下转第 60 页 continued on page 60)

情况进行报警,使电力运行部分能够及时地优化处理配电系统,使用方便,前景可观。

参考文献

[1] 路小军, 吴在军, 郑建勇, 等. 基于 GPRS 通信技术的新型配变远程监控系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17 (3): 82-86.  
 LU Xiao-jun, WU Zai-jun, ZHENG Jian-yong, et al. New Supervisory System for Remote Distribution Transformer Based on GPRS Technology[J]. Proceedings of the CUS-EPSA, 2005, 17 (3): 82-86.

[2] 李涛, 徐建政, 杜晓平. 基于 GPRS 无线通信的配变监测系统的设计与实现[J]. 继电器, 2004, 32(24):37-40.  
 LI Tao, XU Jian-zheng, DU Xiao-ping. Design and Application of GPRS Technology in Monitoring System of Distribution Transformer[J]. Relay, 2004, 32 (24): 37-40.

[3] 李如雄, 林梅金. 基于 GPRS 网络的配变监控终端 TTU 的设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (3): 146-148.  
 LI Ru-xiong, LIN Mei-jin. The Study of Transformer Terminal Unit(TTU) Based on GPRS Network[J]. Microcomputer Information, 2006, 22 (3): 146-148.

[4] 郑安平, 张劲, 朱专政. 新型配变变压器监测终端的设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (5-2): 244-246.  
 ZHENG An-ping, ZHANG Jin, ZHU Zhuan-zheng. Design of New-Style Distribution Transformer Supervisory Terminal[J]. Microcomputer Information, 2006, 22(5-2): 244-246.

[5] 林功平, 徐石明, 罗剑波. 配电自动化终端技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (12): 59-62.  
 LIN Gong-ping, XU Shi-ming, LUO Jian-bo. Technologies of Distribution Automation Terminal[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (12): 59-62.

[6] 高继贤, 李晓媛, 靳永强. 基于专用电能表芯片和 SMS 通信的窃电监控系统的设计[J]. 电气应用, 2005, 24 (10): 115-118.  
 GAO Ji-xian, LI Xiao-yuan, JIN Yong-qiang. Design of Monitoring and Control System Against Electricity Stealing Based on Special Watt-Hour Meter Chip and SMS Communication[J]. Electrotechnical Journal, 2005, 24 (10): 115-118.

[7] ADE7758 DataSheet. Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with per Phase Information ANALOG DEVICES, 2003.

[8] FM3104/16/64/256 Integrated Processor Companion with Memory[Z]. Ramtron International Corporation, 2002.

收稿日期: 2008-01-02; 修回日期: 2008-03-26

作者简介:

陈少华(1954-), 女, 教授, 从事电力系统继电保护与自动装置的教学与研究工作;

陶涛(1980-), 男, 硕士研究生, 从事变电站自动化系统和继电保护的研究; E-mail: oceanvessel@sohu.com

陈章宝(1982-), 男, 硕士研究生, 从事变电站自动化系统和继电保护的研究。

(上接第 11 页 continued from page 11)

[4] 李幼仪, 董新洲, 孙元章, 等. 双回线无通道保护研究(二): 仿真试验[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(12): 56-59.  
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang, et al. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System: Part Two Simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 56-59.

[5] 李幼仪, 董新洲, 孙元章, 等. 双回线无通道保护研究(三): 保护实现与试验[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(13): 69-72.  
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang, et al. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System: Part Three Implementation and Test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(13): 69-72.

[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, 1996.  
 GE Yao-zhong. New Types of Protection Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996.

[7] Bollen M H J. Traveling-wave-based Protection of Double-circuit Lines[J]. IEEE Proceedings, Part C: Gener,

Transm and Distrib, 1993, 140(1): 37-47.

[8] 李幼仪, 董新洲, 孙元章. 基于电流行波的输电线横差保护[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11): 6-10.  
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang. Current-traveling-wave Based Protection of Double-circuit Transmission Line[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(11): 6-10.

[9] 张举, 张晓东, 林涛. 基于小波变换的行波电流极性比较式方向保护[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 51-54.  
 ZHANG Ju, ZHANG Xiao-dong, LIN Tao. A Directional Protection Based on Traveling Wave Current Polarity Comparison Using Wavelet Transform[J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 51-54.

收稿日期: 2008-01-10; 修回日期: 2008-03-02

作者简介:

王兴国(1981-), 男, 博士研究生, 从事电力系统暂态保护的研究; E-mail: xigua1852@163.com

黄少锋(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护的研究;

刘千宽(1967-), 男, 博士研究生, 从事电力系统继电保护的研究。