基于同侧电流变化的线路方向保护算法研究

焦 姣，和敬涵

（北京交通大学电气工程学院，北京 100044）

摘要： 在输电线路发生故障时，故障电流与正常运行负荷电流的相位变化存在一定的规律，利用此规律可以构成一种新的方向元件。通过上述对负荷电流与故障电流相位关系的定性分析，提出了一种基于同侧电流变化的线路方向保护算法，它通过判断故障前后的电流的相位关系构成了一种新型的方向元件，来判断故障区域。这种判别方法作为方向元件只用到了电流信息，可以应用于双端以及多电源的线路故障判断，尤其是电压过小时的故障判断，可以较好解决传统方法在电压过低时误判而导致误动的情况。通过大量的EMTDC/MATLAB仿真验证，表明这种新型的判别算法是正确可行的。

关键词： 负荷电流；故障电流；方向元件；相位信息

A circuit directional protection algorithm based on current changes with one side protects

JIAO Jiao, J H He

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: During the period of the fault of transmission lines, there exists the certain law in voltaic phase change between the fault electric current and regular load current, then a new direction element is made use of this. This passage brings forward a new circuit directional protection algorithm based on current changes which can be used in judging the fault areas while analyzing the relationships of the phase between load current and the fault current. This method only uses the information of electric current and can be applied to the judges of the transmission line fault of the sub-stations, especially when the voltage goes below the standard or can not be measured. This method can well solve the problem when the relay acts by mistake under the traditional method when the voltage goes too low. Besides, the abundant simulating tests by EMTDC/MATLAB verify that this new algorithm is correct and feasible.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50677033).

Key words: load current; fault current; directional element; phase information

中图分类号： TM77 文献标识码： A 文章编号： 1674-3415(2008)17-0001-04

0 引言

近年来，随着电力系统的联网运行，用户对于供电可靠性的要求越来越高，现代电力系统实际上都是由很多电源组成的复杂网络。为了能更好地满足快速性、灵敏性、可靠性和选择性，需要采取方向保护[1]。

现在使用的主要的方向元件[2]有功率方向元件、工频变化量方向元件、能量方向元件、序分量方向元件、相电压补偿式方向元件和90°接线功率方向元件等。这些方向元件都普遍需要使用电压和电流两种电气量来判断故障方向和故障点位置，但是在线路保护中，有很多电压很小甚至接近于零的情况，此时继电器将不能动作，出现“电压死区”。

虽然实际中也采用非故障相的相间电压作为参考量去判别电流的相位来减小和消除死区，但有些情况下，例如金属性接地故障、大电源长线路末端接地故障时靠近中性点侧的电压很小、PT断线时无法测得电压和高阻接地故障的情况，仍然不能很好地解决。

针对传统的功率方向元件无法解决的电压死区的问题，本文提出了线路保护的一种新方法。新算法作为方向元件适用于由很多电源组成的现代电力系统，依靠与对侧的通信可以区分故障区域，广泛用于于现代电力系统保护，尤其是快速保护中。

基金项目： 国家自然科学基金资助项目（50677003）；北京交通大学科研基金资助（EJ06005）

1 新原理的介绍[3]

新原理利用的原理基础是基于电力系统正常运行时负荷电流和发生故障时的故障电流存在一定的关系，所以使用同侧电流变化实现保护是可能的。以下就故障前后负荷电流及故障电流相量相位角的变化情况进行分析。所分析的基础系统见图 1 简单的双端电源网络。

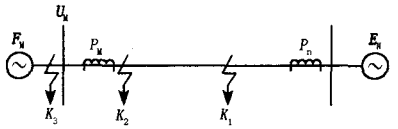

图 1 简单的双端电源网络

Fig.1 Simple double-ends power system

其中：P_m、P_n 为线路两端保护，E_M、E_N 为两端电势，U_M、U_N 为两端母线电压。

以流过 M 侧保护电流变化情况分析，考虑电流互感器误差 $\delta_{TA}=7°$，保护装置误差 $\delta_{PD}=5°$，则误差 $\delta=\delta_{TA}+\delta_{PD}=12°$。一般电力系统正常负荷电流相位角 φ_L 取 30°，即负荷电流 I_{LM} 滞后 U_M 30°。K_1 点短路时，电流 I_{KM1} 滞后 U_M 的角度由线路 MK1 决定，对于 220 kV 及以下线路可取阻抗角 $\varphi_K=60°$，即 I_{KM1} 滞后 U_M 60°。以下对正反方向短路时分别进行分析。

1.1 正方向短路时故障电流相角和负荷电流的分析

这里我们考虑故障阻抗角两个极端情况：

1) 纯电阻情况，即线路出口处经大过渡电阻短路，此时短路阻抗角可以近似认为 $\varphi_{K2R}=0$，I_{K2R} 与 U_M 同向。

2) 纯电抗情况，线路电抗较电阻分量大的多，极限情况考虑短路阻抗角 $\varphi_{K2X}=90°$，I_{K2X} 滞后 U_M 90°。相量图如图 2 所示。

因此，考虑极限情况下，正方向短路时，阻抗角变化范围 $-90°\le\varphi\le0°$，考虑电流互感器及保护装置误差，则阻抗角变化范围 $\varphi_1\le\varphi\le\varphi_2$，其中 $\varphi_1=-102°$、$\varphi_2=12°$，即 $-102°\le\varphi\le12°$。换算到 0°~360° 范围，即 $\varphi_L=330°$，$\varphi_1=258°$，$\varphi_2=12°$，则从负荷到故障，电流相位变化范围：

$$\Delta\varphi_1=\varphi_L-\varphi_1=72°$$

$$\Delta\varphi_2=\varphi_L-\varphi_2=318°$$

则有保护安装处正方向短路故障，故障电流相对负荷电流相位变化范围为：$-42°\le\Delta\varphi\le72°$，即正方向短路故障时，角度变化预值范围 W_1 为：$-42°\le W_1\le72°$。

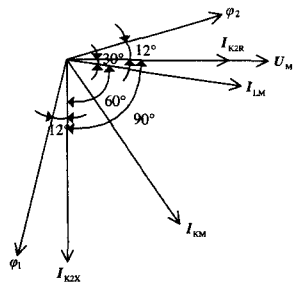

图 2 正方向短路故障各电流相量

Fig.2 Current vector with fault in positive direction

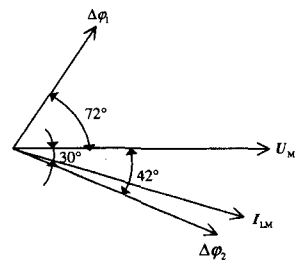

图 3 角度变化预值 W_1 范围

Fig.3 Range of W_1

1.2 反方向短路时故障电流相角和负荷电流的分析

如图中 K_3 点短路，由于在与正方向相反的方向短路，所以电流方向与上述相反。

1) 反方向出口经大过渡电阻短路时，可以近似认为 I_{KMFR} 落后 U_M 180°，$\varphi_{FR}=180°$。

2) 反方向短路时，取极限情况 I_{KMFX} 超前 U_M 90°，$\varphi_{FX}=90°$。

因此，故障时反方向电流相对 U_M 的相位角范围：$90°\le\varphi_F\le180°$，考虑电流互感器及保护装置误差 $\delta=\delta_{TA}+\delta_{PD}=12°$，则：$78°\le\varphi_F\le192°$。

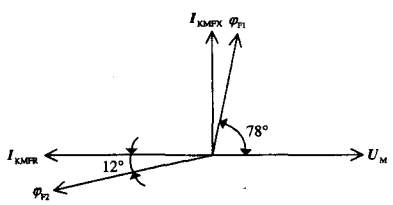

图 4 反方向故障时，电流相量及角度变化

Fig.4 Current vectors with fault in reverse direction

以 0°~360° 范围考虑，系统由负荷运行状态到

反方向故障状态，电流相位的变化为：

$$\Delta\varphi_{F1}=\varphi_L-\varphi_{F1}=330°-78°=252°$$

$$\Delta\varphi_{F2}=\varphi_L-\varphi_{F2}=330°-192°=138°$$

则有反方向短路阻抗角预值范围：W_2: $138°\le W_2\le 252°$，如图 5 所示。

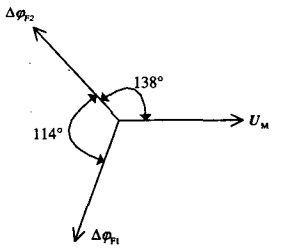

图 5　角度变化预值 W_2 范围

Fig.5 Range of W_2

1.3 判别定理的描述

若故障电流相对负荷电流相位变化落在[138°，252°]，记为 $W_1\in$ [138°，252°]；故障电流相对负荷电流相位变化落在[−42°，72°]，记为 $W_2\in$[−42°，72°]。

如此我们做出了线路保护的新原理的判别方法，如表 1。

表 1 基于同侧电流变化的线路方向保护原理

Tab.1 Circuit directional protection principle

I_1侧从负荷到故障的电流相位变化范围	I_2侧从负荷到故障的电流相位变化范围	故障类型
W_1	W_1	区外故障
W_2	W_2	
W_1	W_2	区内故障
W_2	W_1	

在电力系统发生故障的时候，电流突变量元件启动，取得电流突变前后电流采样值，使用电流突变前后的采样值计算突变前后电流相量的角度，进而计算突变后电流相量和突变前电流相量的角度变化量。

由计算出的角度与角度预值范围 W_1、W_2 比较，判断过后，两侧保护装置通过通讯手段将本侧电流方向变化情况告知对侧装置；若两侧电流方向均处于 W_1 或者 W_2 则是被保护元件区外故障；若两侧电流方向一侧处于 W_1，一侧处于 W_2，则是被保护元件区内故障。

2　仿真的验证

选取三个故障点：A 点（区外靠近 M 端），B 点（区内），C 点（区外靠近 N 端）；选取故障类型：A-G（单相接地短路故障），AB（两相故障），AB-G（两相接地故障），ABC-G（三相接地故障）。故障时间范围 0~0.15 s。

2.1 A 点故障（A-G）

图 6 中，上图为 I_1 侧负荷电流相位与故障电流相位变化量；下图为 I_2 侧负荷电流相位与故障电流相位变化量。

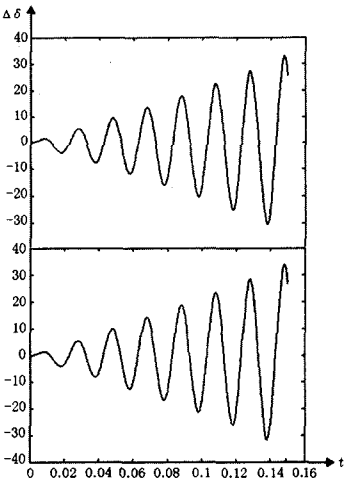

图 6　A 点故障时相位变化范围(A-G)

Fig.6 Range of phase change at fault A (A-G)

结果分析：两侧的相位的变化量的范围都在[−30°，32°]，属于 W_2，所以是区外故障。

2.2 B（A-G）点短路

图 7 中，上图为 I_1 侧负荷电流相位与故障电流相位变化量；下图为 I_2 侧负荷电流相位与故障电流相位变化量。

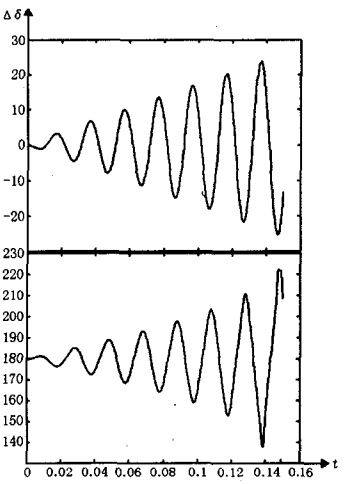

图 7　B 点故障时相位变化范围(A-G)

Fig.7 Range of phase change at fault B (A-G)

结果分析：I_1 侧的相位范围在[−25°，25°]，属

于 W_1，I_2侧的范围是[140°，225°]，属于 W_2，符合上述的区内故障的条件。

2.3 C（A-G）点短路

图 8 中，上图为 I_1侧负荷电流相位与故障电流相位变化量；下图为 I_2侧负荷电流相位与故障电流相位变化量。

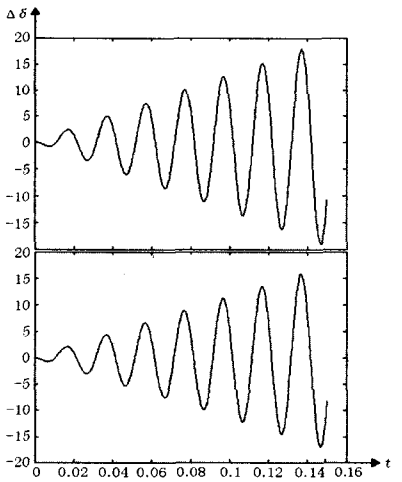

图 8　C 点故障时相位变化范围(A-G)

Fig.8 Range of phase change at fault C (A-G)

结果分析：I_1侧的范围是[-20°，17°],属于 W_1，I_2侧的范围是[-17°，15°]，属于 W_1，符合上述的区外故障的条件。

同时：其余的几种故障类型的情况和上述分析一致，也符合原理的说明和规定，在此不一一列举。

综上所述：由仿真图形，我们可以清楚地看出 A,C 两点所发生的故障是区外故障，B 点所发生的故障是区内故障。由此可得，所选取的区内、区外的故障判断均符合判据的要求。同时，由仿真图形分析，仿真波形看负荷电流相位与故障电流相位变化量也是一个周期变化量。

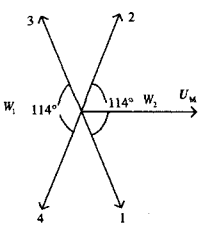

图 9 保护装置的动作范围

Fig.9 Action range of the protection devices

3　保护装置的动作区间

由以上的分析可以得出如图 9 所示的保护装置的动作范围。

得出以下继电保护装置的动作判断范围：

（判断故障信息是通过对策交换信息后获得的）

- M 侧信息：W_1——N 侧信息：W_2；M 侧信息：W_2——N 侧信息：W_1　区内跳闸
- M 侧信息：W_1——N 侧信息：W_1；M 侧信息：W_2——N 侧信息：W_2　区外不跳闸

4　结论

本文提出的线路保护判断故障的新原理很好地解决了长久未能解决的“电压死区”的问题，并且原理简单易行，可以适用于电力系统线路保护中。

参考文献

[1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京：中国电力出版社，1999.

[2] 杨 兰，杨庭芳，张艳平. 功率方向元件动作判据的改进[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版)，2006，21(2)：10-11.
YANG Lan, YANG Ting-fang , ZHANG Yan-ping. Analysis on the Advancement of Operating Criteria for Power Directional Relay[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology,(Natural Science), 2006，21（2）：10-11.

[3] 和敬涵. 电力系统集成保护技术研究[D]. 北京：北京交通大学，2007.

[4] 刘成坤，黄少锋. 以负荷电流为参考量的方向电流高频保护[A]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十一届学术年会论文集[C].南宁：2005.1878-1881.

收稿日期：2007-11-27；　修回日期：2008-01-09

作者简介：

焦　姣(1983-)，女，研究生，研究方向为电力系统继电保护与控制；E-mail: 06121840@bjtu.edu.cn

和敬涵（1964-），女，副教授，主要研究方向为电力系统继电保护及控制。