

DOI: 10.7667/PSPC170149

一种基于电流自构参考量的电流方向纵联保护

李振兴¹, 王玲¹, 王欣¹, 李振华², 翁汉琍²

(1. 三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 443002;
2. 新能源微电网湖北省协同创新中心(三峡大学), 湖北 宜昌 443002)

摘要: 基于零序方向或者负序方向构成的保护在电力系统继电保护中占重要地位, 但当系统经高阻接地或 PT 断线时, 一些测量点的序电压很小, 进而影响方向元件的判别。为解决上述问题, 提出一种仅利用测量电流本身(如零序电流或者负序电流)自构建零序或者负序的参考量值, 基于测量电流与参考量的比较结果转换为状态量, 进一步由线路两端方向状态比较构成保护判据。在系统发生不对称故障后, 利用故障零/负序电流的微分、反向等数据综合处理, 获取送受端方向一致的电流参考量, 再基于测量零/负序电流与参考量的比较构建新的方向判据。该方法不需要电压信息, 大大降低了保护的通信量, 在高阻接地、不同故障初始角等情况下仍正确动作, 可应用于广域系统。仿真结果验证了本保护判据的可靠性。

关键词: 零序方向; 负序方向; 参考量; 纵联方向

A new pilot direction protection based on self-constructing reference current

LI Zhenxing¹, WANG Ling¹, WANG Xin¹, LI Zhenhua², WENG Hanli²

(1. College of Electrical Engineering and New Energy, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for New Energy Microgrid, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The protection based on zero sequence direction or negative sequence direction plays important roles in power system relay protection. But in the condition of a high resistance grounded system or PT disconnection, the voltage at some of measuring points is small which will affect the discrimination of directional element. In order to solve these problems, this paper brings forward a new criterion based on zero sequence current or negative sequence current to build zero sequence directional reference or negative sequence directional reference. And then a pilot directional protection is constructed by comparing two-terminal direction results of a line. After the asymmetrical faults occurs in system, it utilizes information-integrated processing of zero/negative sequence current like differential method and reverse method to acquire the current reference direction of sending side and receiving side in the same direction, building a new criterion based on the comparison of zero/negative sequence current and reference direction. This method does not need voltage information that can greatly reduce the communication traffic of the protection, and is immune to different fault initial angle and large ground resistance. Thus it can be widely used in wide-area protection system. Simulation results show that the direction criterion is reliable.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51607106) and Key Project of Science and Technology Research Program of Hubei Provincial Education Department (No. Z2017037).

Key words: zero sequence current direction; negative sequence current direction; reference value; pilot direction

0 引言

广域系统的纵联保护和后备保护均使用了负序方向保护或零序方向保护。但当系统出现高阻接地故障时, 线路背侧系统阻抗较小, 距故障点较远的

测量点其零序电压或负序电压均很小, 导致基于电压为参考量的保护将难以判断^[1-4]。另外, 保护装置出现测量电压 PT 断线时, 判断装置采取闭锁电压的保护方式, 相当于使保护直接退出失去有效性。再就是当前配电网中, 很多节点仅安装电流互感器, 并没有配置电压互感器。在上述情况下, 常规的方向判据将不能配置。因此, 研究仅基于电流信息构建的方向保护将能够承担很多特殊应用场合,

基金项目: 国家自然科学基金项目(51607106); 湖北省教育厅科学技术研究计划重点项目(Z2017037)

尤其是对广域系统具有重要的意义^[5-9]。

当前, 已有学者利用故障电流开展构建方向判据的研究。这类研究大致分为两个方面: 一是利用故障前的电流作为参考构建方向比较判据; 二是利用非故障相电流或者背侧系统电流构建方向比较判据。文献[10]利用故障前电流作为参考量, 采用线路两端故障电流分量的相位差特性构建新的方向判据, 但文中判据和动作特性受未知系数影响较大, 可能致使保护误判进而降低保护的可靠性; 文献[11]同样根据电流故障分量的特点, 提出基于故障分量瞬时值的电流纵差保护新判据。由于此判据的投入时间是故障后的第 1 周期, 当发生转换性故障或二次关联故障时, 故障分量的精确提取将变得困难。上述判据均可实现方向判断, 但受故障类型、系统结构等因素的影响较大。针对配电网谐振接地故障, 通过分析变电站出线端线路分支故障、非出线端线路分支故障以及故障点前后的零序电流特征, 文献[12]提出了与相位相关的电流差动站域后备保护算法, 其利用正常运行时的电流作为参考量, 结合传统站域信息构成电流差动新判据。文献[13]利用故障前的电流作为参考量, 提出一种利用零序电流突变量进行带电故障定位的判据。由于接地现象复杂, 暂态持续时间短, 当接地保护装置启动后系统暂态过程已基本结束, 给故障定位带来一定困难。这些判据结果正确, 但易受短路时间限制, 仅能够存在 2~3 个周波^[14]。

本文提出一种仅利用故障电流本身自构建电流参考量, 进一步可根据就地的方向比较和双端的方向比较形成保护判据。故障电流选用零序电流或负序电流, 主要是考虑到系统故障后零序网络或者负序网络是单电源网络, 分析直观。本方法不受电流突变量时间限制, 且不需要电压量信息, 能很好地解决广域保护通信复杂和数据冗余的问题。

1 故障电流自构建参考量

1.1 自构参考量分析

基本思路: 线路正常运行或者区外故障时, 线路两端的电流相位趋于相反; 线路区内故障时, 线路两端的电流相位趋于相同。对于任一端测量电流, 均可以取得与故障测量电流垂直的两个向量, 不论线路两端电流相位相同与否, 这两个垂直向量是相同的。进一步根据角度控制, 可以得到这两个向量的向下垂直向量, 而此向量对于线路两端是统一的。故可作为参考分析向量。

本文主要针对系统中出现高阻接地或者 PT 断线时, 一些测量点序电压很小, 进而影响方向元件

判别灵敏度的问题^[15-17], 因此, 后续分析主要建立在不对称故障分析的基础上。

1.2 区外故障方向分析

系统发生不对称故障时, 系统中会出现负序或者零序分量。若将故障点等值成一个负序或者零序电源, 则负序或者零序网络就可视为一个单电源网络。首先设线路 MN 发生区外故障, 其等值网络如图 1 所示(分析以零序网络为例, 负序网络可以类同分析)。图中, Z_{sm0} 、 Z_{sn0} 分别为系统两侧的零序阻抗; Z_{L0} 为线路零序阻抗; i_{m0} 、 i_{n0} 分别为线路两端的零序电流, 并规定电流的正方向为线路指向母线; \dot{V}_0 为等值零序电源; R_g 为接地电阻; $V_0\angle\beta$ 为故障点的零序电压幅值与初相位。

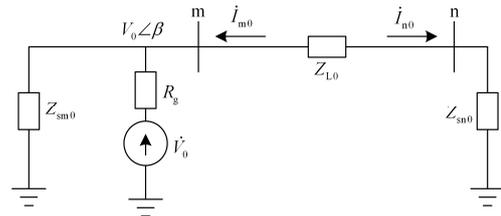


图 1 区外故障零序等值网络

Fig. 1 Zero sequence equivalent network under external fault

由图 1 可知, 故障点在线路左侧时, 系统所产生的零序电流在 n 端与规定的电流方向相同, 在 m 端则相反。下面就 m 端和 n 端分别计算分析方向情况。首先计算零序电流:

$$i_{n0} = \frac{V_0\angle\beta}{Z_{L0} + Z_{sn0}} = \frac{V_0\angle\beta}{|Z_{n0}|\angle\theta_n} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle(\beta - \theta_n) \quad (1)$$

$$i_{m0} = -i_{n0} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle(\beta - \theta_n + \pi) \quad (2)$$

式中, Z_{n0} 与 θ_n 分别为短路点至 n 侧的等值零序阻抗幅值和相位。

基于构建故障电流参考量包括三步。

第一步, 对零序电流求导, 计算电流对时间的微分:

$$i'_{n0} = k_1 \frac{di_{n0}}{dt} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle(\beta - \theta_n + \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

$$i'_{m0} = k_2 \frac{di_{m0}}{dt} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle(\beta - \theta_n + \frac{3\pi}{2}) = \quad (4)$$

$$\left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle(\beta - \theta_n - \frac{\pi}{2})$$

式中, k_1 、 k_2 的取值与微分计算有关, 目的是使微

分后的计算电流与原测量电流的幅值相同，以便于后面的计算处理。

第二步，计算反向电流：

$$i'_{m0} = -i'_{n0} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle (\beta - \theta_n - \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

$$i'_{m0} = -i'_{n0} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle (\beta - \theta_n + \frac{\pi}{2}) \quad (6)$$

第三步，参考电流取微分电流和反向电流两者相量之和的向下垂直向量。由式(3)、式(5)计算N侧电流参考量；由式(4)、式(6)计算M侧电流参考量：

$$i_{\text{refn}0} = |I_{\text{refn}0}| \angle \left(\frac{\angle I'_{n0} + \angle I'_{m0}}{2} \right) = i_{\text{refn}0} = \begin{cases} |I_{\text{refn}0}| \angle (\beta - \theta_n) & -\pi \leq \beta - \theta_n \leq 0 \\ |I_{\text{refn}0}| \angle (\beta - \theta_n - \pi) & 0 < \beta - \theta_n < \pi \end{cases} \quad (7)$$

由式(1)一式(7)分析可知，在区外故障时，尽管两端故障电流反向，但测量电流通过三步计算后所获得的参考电流方向相同。通过图2向量图可进一步反映上述分析。

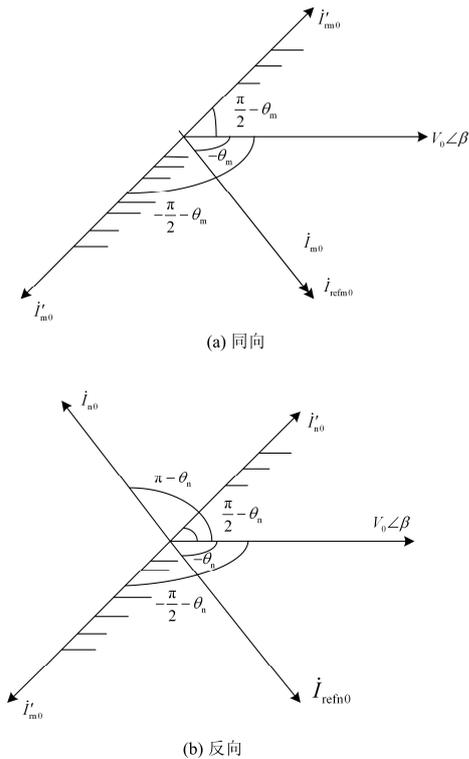


图2 区外故障零序电流向量图

Fig. 2 Vector diagram of zero sequence current under external fault

综合图(2)与式(1)、式(2)可知，测量电流相位受故障电压初相角、系统阻抗角的影响。但比较式(1)、式(2)测量零序电流和式(7)参考电流，存在着：一端

测量零序电流与参考电流反向，另一端测量零序电流与参考电流同向。

假设定义与参考方向相同为同向，输出状态量为1；否则为反向，输出状态量为-1。可以由式(8)来表示方向性。

$$f(m) = \begin{cases} 1 & -90^\circ < \arg(\frac{i_{m0}}{i_{\text{refn}0}}) < 90^\circ \\ -1 & 90^\circ < \arg(\frac{i_{m0}}{i_{\text{refn}0}}) < 270^\circ \end{cases} \quad (8)$$

基于以上分析，区外故障时两端方向比较结果相反，故区外故障的判断为

$$R(L) = |f(m) + f(n)| = 0 \quad (9)$$

式中：R(L)为线路电流方向保护比较的结果；0表示本线路无故障。

1.3 区内故障方向分析

当线路MN发生区内故障时，其等值网络如图3所示，定义 $V_0 \angle \alpha$ 为故障点的零序电压幅值与初相位。 Z_{Lm0} 、 Z_{Ln0} 分别故障点到线路两端的零序阻抗。图中其他参数同图1定义。

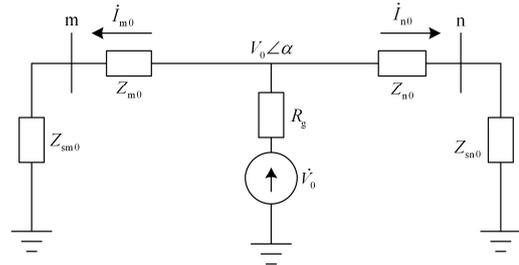


图3 区内故障零序等值网络

Fig. 3 Zero sequence equivalent network under internal fault

由图3可知，故障点在线路中间时，系统所产生的零序电流与线路两端规定的电流方向相同。下面就m端和n端分别计算分析方向情况。

$$i_{m0} = \frac{V_0 \angle \alpha}{Z_{Lm0} + Z_{sm0}} = \left| \frac{V_0}{Z_{m0}} \right| \angle (\alpha - \theta_m) \quad (10)$$

$$i_{n0} = \frac{V_0 \angle \alpha}{Z_{Ln0} + Z_{sn0}} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle (\alpha - \theta_n) \quad (11)$$

式中， Z_{m0} 、 Z_{n0} 、 θ_m 、 θ_n 分别为短路点至M、N侧的等值零序阻抗幅值和相位。

假定系统阻抗角与线路阻抗角相等，即 $\theta_m = \theta_n$ ，结合式(10)、式(11)计算得

$$i_{n0} = \left| \frac{V_0}{Z_{n0}} \right| \angle (\alpha - \theta_n) = k i_{m0} \quad (12)$$

式(12)说明两端电流幅值不一定相等(k为实系

数)但相位相同。

系统两端构建故障电流参考量的方法相同, 也分为三步(以 M 端为例)。第一步, 对零序电流求导, 计算电流对时间的微分:

$$\dot{i}'_{m0} = k \frac{d\dot{i}_{m0}}{dt} = \left| \frac{V}{Z_m} \right| \angle(\alpha - \theta_m + \frac{\pi}{2}) \quad (13)$$

第二步, 将计算电流 \dot{i}'_{m0} 反向, 逆时针旋转半周, 即可以得到反向电流

$$\dot{i}'_{rm0} = -\dot{i}'_{m0} = \left| \frac{V}{Z_m} \right| \angle(\alpha - \theta_m - \frac{\pi}{2}) \quad (14)$$

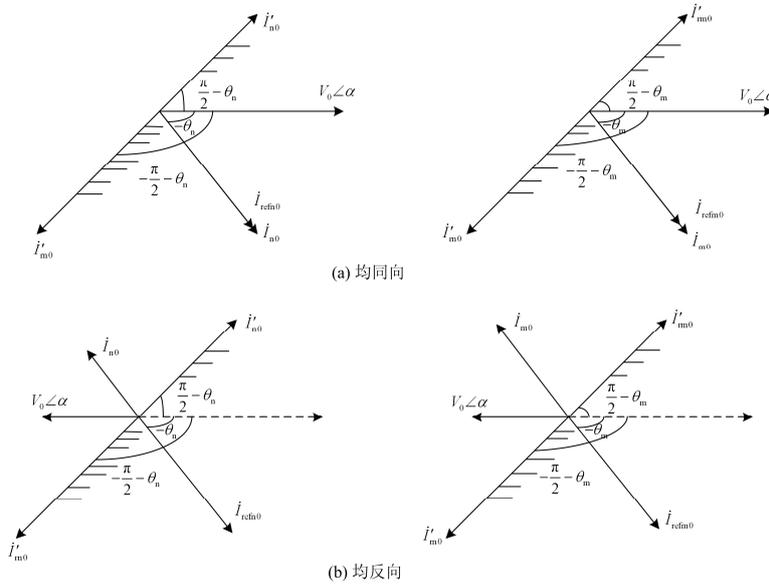


图 4 区内故障时零序电流向量图

Fig. 4 Vector diagram of zero sequence current under internal fault

由图(4)和式(10)、式(11)可知, 测量电流相位受故障电压初相角、系统阻抗角的影响, 但比较式(10)、式(11)测量零序电流和式(15)参考电流, 存在着: 两端测量零序电流与参考电流同时同向, 或者两端测量零序电流与参考电流同时反向。

2 保护判据及其实现

2.1 保护判据

通过上一节分析, 利用测量电流本身(如零序电流或者负序电流)自构建零序或者负序的参考量值, 基于测量电流与参考量的比较结果转换可以为方向状态量, 进一步由线路两端方向状态比较可以构成纵联方向保护判据。基于式(8)的方向性定义, 区内故障时两端方向比较结果相同, 故区内故障的判据为

$$R(L) = |f(m) + f(n)| = 2 \quad (16)$$

式中: $R(L)$ 为线路电流方向保护比较的结果; 2表示

第三步, 计算参考电流量。即由式(13)、式(14)综合构建参考电流。

$$\dot{i}_{\text{refm}0} = |I_{\text{refm}0}| \angle \left(\frac{\angle I'_{m0} + \angle I'_{rm0}}{2} \right) = \dot{i}_{\text{refm}0} = \begin{cases} |I_{\text{refm}0}| \angle(\alpha - \theta_m) & -\pi \leq \alpha - \theta_m \leq 0 \\ |I_{\text{refm}0}| \angle(\alpha - \theta_m - \pi) & 0 < \alpha - \theta_m < \pi \end{cases} \quad (15)$$

由式(10)一式(15)可知, 测量电流相位受故障初相角、系统阻抗角的影响, 进而参考电流方向相位也受故障电压初相角影响, 但通过对测量电流三步计算后所获得的两端参考电流方向相同。通过图 4 向量图可进一步反映上述分析。

本线路发生区内故障。

2.2 实现方法

本算法实现的关键是计算参考电流的三个步骤, 根据上一节的分析, 利用当前微机保护基本算法, 阐述其实现方法。以 A/D 采样 24 点为例, 信号处理采样用 FFT 计算幅值和相位。

1) 微分计算

$$\dot{i}'_{m0}[n] = k \frac{d\dot{i}_{m0}(t)}{dt} = 3.83 \times (\dot{i}_{m0}[n] - \dot{i}_{m0}[n-1]) \quad (17)$$

式(10)采样一点差分实现微分计算, 此时 $k = 3.83$, 整个计算是离散采样点的计算。

2) 反向计算

$$\dot{i}'_{rm0}[n] = -1 \times \dot{i}'_{m0}[n] \quad (18)$$

3) 参考电流计算

基于 FFT 分别计算 n 采样时刻采样电流、微分

电流和方向电流的实部和虚部 $\dot{I}_{m0} = R_{m0} + jX_{m0}$,

$$\dot{I}'_{m0} = R'_{m0} + jX'_{m0}, \quad \dot{I}'_{rm0} = R'_{rm0} + jX'_{rm0}。$$

首先计算 \dot{I}'_{m0} 、 \dot{I}'_{rm0} 的点积, 获取二者相位之和

$$\begin{aligned} \dot{I}_{r1} &= \dot{I}'_{m0} \times \dot{I}'_{rm0} = \\ & (R'_{m0} + jX'_{m0}) \times (R'_{rm0} + jX'_{rm0}) = \\ & (R'_{m0}R'_{rm0} - X'_{m0}X'_{rm0}) + \\ & j(R'_{m0}X'_{rm0} + R'_{rm0}X'_{m0}) = \\ & R_{r1} + jX_{r1} \end{aligned} \quad (19)$$

如果 $X_{r1} > 0$, 取 $\dot{I}_{r1} = -\dot{I}'_{r1}$; 进一步计算 \dot{I}_{r1} 的幅值, 取相位为 0, 再与 \dot{I}_{r1} 相加获取相位的一半, 即得到式(7)或者式(15)的参考电流。

$$\dot{I}_{refm0} = \sqrt{R_{r1}^2 + X_{r1}^2} + R_{r1} + jX_{r1} = R_{refm0} + jX_{refm0} \quad (20)$$

如果直接按照式(7)或者式(15)取幅值和相位进行计算, 正切、反正切函数的计算明显增大微机保护装置的运算量, 本算法处理仅一次开方复杂, 其他仅是乘法和加法运算。

4) 方向判据实现

利用测量电流和参考电流的实部和虚部, 按照式(8)的判据, 很容易实现初步方向的判别。

$$\begin{cases} 1 & R_{m0}R_{refm0} + X_{m0}X_{refm0} > 0 \\ -1 & R_{m0}R_{refm0} + X_{m0}X_{refm0} < 0 \end{cases} \quad (21)$$

5) 保护判断

利用两端方向比较结果, 利用式(9)、式(16), 很容易实现线路区内和区外故障的判定。

$$R(L) = |f(m) + f(n)| = \begin{cases} 2 & \text{区内故障} \\ \text{其他} & \text{区外故障} \end{cases} \quad (22)$$

2.3 保护流程

根据以上分析, 可以画出保护实现的基本流程图, 如图 5 所示。在保护流程图中增加了保护启动判据, 其中 $k = I_s$ 可以为零序 IV 段定值。另外, 此流程图仅以零序电流为例, 对于负序电流或者正序突变量电流类同处理。

3 仿真分析

为验证本文所提出的新判据, 利用电磁暂态仿真软件 PSCAD 搭建两端系统模型进行仿真验证。系统电压等级为 500 kV, 线路全长为 400 km。系统电源阻抗 $Z_{m1} = (1.05 + j43.2) \Omega$, $Z_{m0} = (0.6 + j29.1) \Omega$, $Z_{n1} = (26.0 + j44.9) \Omega$, $Z_{n0} = (20.0 + j37.5) \Omega$, 图 6 为实验模型图。

考虑到本文所提出判据由零/负序电流与参考量的比较构成, 故而在仿真过程中应分别采用零/负序电流来验证该理论的正确性。

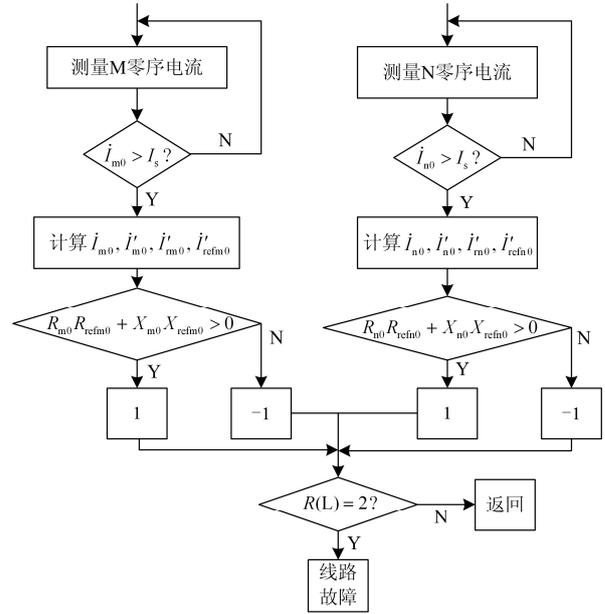


图 5 保护流程图

Fig. 5 Protection flow chart

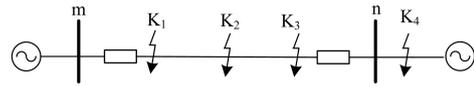


图 6 仿真模型

Fig. 6 Model of simulation system

3.1 零序电流判定

在仿真条件下, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 分别模拟各种金属性故障和带过渡电阻接地故障(过渡电阻取 0~300 Ω)。 K_1 、 K_3 位于线路出口, K_2 位于线路中点, K_4 位于 n 端线路反向出口, 计算时采用一点差分算法及全周期傅里叶滤波算法。令系统稳态运行 1 s 后发生故障(选择不同时刻, 控制不同初相角), 在 1.25 s 后故障返回。由于故障点至两端系统的等值零序阻抗相位角并不完全相同, 故两端的电流参考量也不完全相同。表 1 为各故障点发生接地故障时, 线路两端的零序电流相位、参考电流相位以及方向、保护的判断结果。

3.2 负序电流判定

采用负序电流对该判据进行验证, 系统参数、仿真故障点与故障时间均与上述过程相同。表 2 为线路两端的负序电流相位、参考电流相位以及方向、保护的判断结果。具体数据如表 2 所示。

由表 1、表 2 可得, 系统发生区内故障时, 系统两侧零/负序电流与参考电流方向比较结果相同, 保护判据的幅值和等于 2; 发生区外故障时, 两侧零/负序电流与参考电流方向比较结果相反, 保护判据的幅值和等于 0。基于表 1 和表 2 所得实验结果,

表 1 不同故障点零序电流相位以及参考电流相位

Table 1 Phase of zero sequence current and reference current at different locations of faults

(°)

		Ag($R_f=0 \Omega$), $\alpha=0$				Ag($R_f=100 \Omega$), $\alpha=60$				Ag($R_f=300 \Omega$), $\alpha=-150$				BCg($R_f=0 \Omega$), $\alpha=-60$			
		$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$
K ₁	m 侧	-146.6	-152.5	1	2	-80.1	-144.0	1	2	-66.8	-59.1	1	2	35.5	-145.6	-1	2
	n 侧	-133.1	-143.5	1	2	-70.0	-134.8	1	2	-56.6	-50.1	1	2	46.1	-136.4	-1	2
K ₂	m 侧	-132.9	-17.4	1	2	-84.7	-143.2	1	2	-66.5	-89.2	1	2	49.5	-136.0	-1	2
	n 侧	-127.1	-12.4	1	2	-79.3	-138.6	1	2	-61.1	-84.5	1	2	54.9	-131.7	-1	2
K ₃	m 侧	-133.5	-17.1	1	2	-85.0	-143.6	1	2	-66.8	-89.4	1	2	48.1	-137.0	-1	2
	n 侧	-127.5	-11.6	1	2	-78.8	-138.1	1	2	-60.5	-83.9	1	2	54.2	-131.5	-1	2
K ₄	m 侧	-130.4	-140.0	1	0	-84.2	-142.1	1	0	-66.1	-88.8	1	0	108.5	-106.8	-1	0
	n 侧	48.8	-140.1	-1	0	96.4	-143.0	-1	0	114.5	-88.9	-1	0	-70.5	-107.0	1	0

注: 表 1 中参数 $p1$ 为 $\angle \dot{I}_0$, 参数 $p2$ 为 $\angle \dot{I}_{ref}$, 参数 $p3$ 为 $f(i)$, i 为 m 或者 n, 参数 $p4$ 为 $R(L)$ 。

表 2 不同故障点序电流相位以及参考电流相位

Table 2 Phase of negative sequence current and reference current at different locations of faults

(°)

故障点		Ag($R_f=0 \Omega$), $\alpha=-50$				Ag($R_f=100 \Omega$), $\alpha=-100$				BCg, $\alpha=60$				BC, $\alpha=120$			
		$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$
K ₁	m 侧	-145.3	-153.9	1	2	-81.7	-89.4	1	2	33.1	-155.8	-1	2	33.7	-153.8	-1	2
	n 侧	-134.2	-153.3	1	2	-70.3	-89.5	1	2	44.9	-154.3	-1	2	45.3	-155.0	-1	2
K ₂	m 侧	-140.4	-148.1	1	2	-87.7	-96.7	1	2	36.5	-151.4	-1	2	37.7	-150.2	-1	2
	n 侧	-127.9	-146.7	1	2	-75.4	-94.5	1	2	49.3	-149.8	-1	2	50.4	-148.7	-1	2
K ₃	m 侧	-132.2	-141.1	1	2	-86.9	-88.1	1	2	44.0	-145.0	-1	2	44.7	-144.3	-1	2
	n 侧	-117.5	-136.1	1	2	-70.0	-89.0	1	2	61.3	-139.7	-1	2	62.1	-117.9	-1	2
K ₄	m 侧	-133.5	-142.5	1	0	-86.3	-95.2	1	0	45.2	-143.8	-1	0	-134.1	-143.4	1	0
	n 侧	46.8	-152.3	-1	0	94.1	-105	-1	0	-134.5	-153.6	1	0	45.6	-149.2	-1	0

注: 表 2 中参数 $p1$ 为 $\angle \dot{I}_2$, 参数 $p2$ 为 $\angle \dot{I}_{ref}$, 参数 $p3$ 为 $f(i)$, i 为 m 或者 n, 参数 $p4$ 为 $R(L)$ 。

在系统发生不同的不对称故障类型、高阻接地故障、不同故障初始角等情况下, 本文所提出的判据均能满足要求, 即发生故障时能够正确识别故障区域。且保护判据不需要电压向量, 基于线路两端电流的比较反映为基于线路两端状态量的比较, 工程上也较容易实现。

4 结语

本文提出一种仅利用零序电流或者负序电流构建零序或者负序参考方向, 并基于两端结果状态量比较构建电流方向保护新判据。本方法理论分析和仿真结果均表明此法有效, 且具有如下优点:

1) 本方法原理简单, 仅需要零/负序的电流信息, 不需要电压信息, 避免高阻接地故障以零序电压作为参考量时保护灵敏度不足的问题;

2) 基于线路两端电流的比较最终反映为基于线路两端状态量的比较, 降低纵联信道上的通信量, 提高了工程上的可实现性;

3) 仿真测试验证了本算法的可靠性和有效性。

参考文献

- [1] 刘健, 尹海霞, 尚海仓, 等. 基于二分法的本地控制改善含分布式电源配电网电压质量[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 61-67.
LIU Jian, YIN Haixia, SHANG Haicang, et al. Voltage performance improvement by dichotomy based local control for power distribution networks with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(18): 61-67.
- [2] 高效海, 苏晓龙. 一种新的单端行波测距方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 87-91.
GAO Xiaohai, SU Xiaolong. A new method for single-ended traveling wave fault location[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(12): 87-91.
- [3] 杨萃源, 舒勤. 基于线模行波突变配电网全架空线路单相接地的多端检测定位新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(9): 22-28.
YANG Luoyuan, SHU Qin. A new multiterminal detecting location method of single-phase grounding to the overhead-line for distribution network based on

travelling-wave mutation of line-mode[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(9): 22-28.

[4] 李珊, 何怡刚, 项胜, 等. 基于故障电压比较与多信息融合的广域后备保护算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 92-98.
LI Shan, HE Yigang, XIANG Sheng, et al. A wide backup protection algorithm based on fault voltage comparison and multi-information fusion[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 92-98.

[5] 高孟友, 徐丙垠, 张新慧. 基于故障电流幅值比较的有源配电网故障定位方法[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(7): 21-25.
GAO Mengyou, XU Bingyin, ZHANG Xinhui. Fault location based on fault current amplitude comparison for active distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(7): 21-25.

[6] 王婷, 刘渊, 李凤婷, 等. 光伏 T 接高压配电网电流差动保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(13): 60-65.
WANG Ting, LIU Yuan, LI Fengting, et al. Research on the current differential protection where PV access to the high voltage distribution network with T-type[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(13): 60-65.

[7] 司新跃, 陈青, 高湛君, 等. 基于电流相角突变方向有源配电网保护[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(11): 97-103.
SI Xinyue, CHEN Qing, GAO Zhanjun, et al. Protection scheme for active distribution system based on directions of current phase angle variation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(11): 97-103.

[8] 熊小伏, 陈星田, 曾星星, 等. 基于广义变比辨识的继电保护电流测量回路故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(增刊 1): 76-84.
XIONG Xiaofu, CHEN Xingtian, ZENG Xingxing, et al. Fault diagnosis method of current measurement circuit in protection based on the identification of generalized ratio[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(S1): 76-84.

[9] YIN Xianggen, ZHANG Zhe, LI Zhenxing, et al. The research and the development of the wide area relaying protection based on fault element identification[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 95-107. DOI: 10.1186/s41601-016-0023-z.

[10] 李斌, 曾红艳, 范瑞卿, 等. 基于故障分量的相位相关电流差动保护[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(3): 54-58.
LI Bin, ZENG Hongyan, FAN Ruiqing, et al. Phase correlation current differential protection based on fault component[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(3): 54-58.

[11] 高厚磊. 利用故障分量瞬时值的电流纵差保护新判据[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 21-25.
GAO Houlei. A new criterion for line current differential protection by using in instantaneous value of fault component[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 21-25.

[12] 李倍, 和敬涵, YIP T. 一种基于相位相关电流差动的站域后备保护算法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(24): 1-5.
LI Bei, HE Jinghan, YIP T. A study of substation-area backup protection based on phase related current differential[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(24): 1-5.

[13] 倪广魁, 鲍海, 张利, 等. 基于零序电流突变量的配电网单相故障带电定位判据[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(31): 118-122.
NI Guangkui, BAO Hai, ZHANG Li, et al. Criterion based on the fault component of zero sequence current for online fault location of single-phase fault in distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(31): 118-122.

[14] 束洪春, 朱梦梦, 黄文珍, 等. 基于暂态零序电流时频特征量的配网故障选线方法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(9): 1-6.
SHU Hongchun, ZHU Mengmeng, HUANG Wenzhen, et al. Faulty line selection based on time-frequency characteristics of transient zero-sequence current[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(9): 1-6.

[15] 刘东超, 李铁仲, 张哲, 等. PT 中性线断线的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 73-76.
LIU Dongchao, LI Tiezhong, ZHANG Zhe, et al. Research on PT neutral line failure[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 73-76.

[16] 王睿琛, 薛安成, 毕天姝, 等. 继电保护装置时变失效率估算及其区域性差异分析[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(5): 11-15, 23.
WANG Ruichen, XUE Ancheng, BI Tianshu, et al. Time-varying failure rate estimation of relay protection devices and their regional differences analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(5): 11-15, 23.

[17] 赵军, 袁雪琼, 阮琦, 等. 基于对地参数跟踪测量的不接地系统单相接地故障选相研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 81-85.
ZHAO Jun, YUAN Xueqiong, RUAN Qi, et al. Research on single phase grounding fault phase selection based on ground parameter tracking and measurement[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 81-85.

收稿日期: 2017-02-07; 修回日期: 2017-06-19

作者简介:

李振兴(1977—), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统继电保护与安全稳定控制; E-mail: lzx2007001@163.com

王玲(1991—), 女, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与安全稳定控制。E-mail: 478242327@qq.com

王欣(1991—), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为电力系统继电保护、系统规划。E-mail: 188297581@qq.com

(编辑 周金梅)