一种新的相差高频保护的操作电流——正序电流突变量

华北电力学院　　宋英义　　高中德

摘要

相差高频保护是目前广泛应用于电力系统的保护之一。相差高频保护中操作电流的选择对保护的动作性能有很大影响。传统相差高频保护大多采用正、负序电流复合分量作为操作电流，采用这种操作电流的保护还存在一些问题。本文提出了采用正序电流突变量作为相差高频保护的操作电流，分析发现采用这种操作电流后将使保护的性能有较大提高。

一　传统相差高频保护采用的操作电流及存在的问题。

传统相差高频保护大多采用正序电流和负序电流的复合分量作为操作电流。即：

$$I_K = I_1 + KI_2$$

K为一常系数，一般取6～8。

1．由于K的取值，当系统发生不对称故障时，操作电流主要取决于I_2，当系统发生对称故障时，$I_2=0$，操作电流由I_1决定，而I_1中含有负荷分量I_{1e}，这一分量的存在影响了保护的动作性能。考虑到其它不利因素的存在、如在长距离重负荷线路受端出口三相短路时，保护可能出现相继动作现象[1]。

2．在发生转换性故障时，大多数情况下操作电流的相位将发生变化。我们将以单相接地故障（$K^{(A,0)}$）转换为两相接地故障（$K^{(A,B,0)}$）为例，对I_1+KI_2操作电流的相位变化情况作一具体分析，为便于分析设短路前线路的负荷电流$I_{1e}=0$。

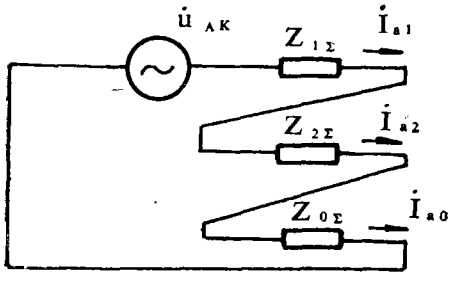

图1—1

对于A相接地短路，由故障分析可知为串型故障，其序网图如图1—1示。

$\dot{u}_{Ak}$为短路点故障前A相电压。

由图1—1得：

$$\dot{I}_{a1}=\dot{I}_{a2}=\dot{I}_{a0}=\frac{\dot{u}_{AK}}{Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}} \qquad (1-1)$$

并由此得出$\dot{u}_{AK}$、$\dot{I}_{a1}$、$\dot{I}_{a2}$、$\dot{I}_{a0}$及$\dot{I}_K=\dot{I}_1+K\dot{I}_2$的向量关系如图1—2示。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

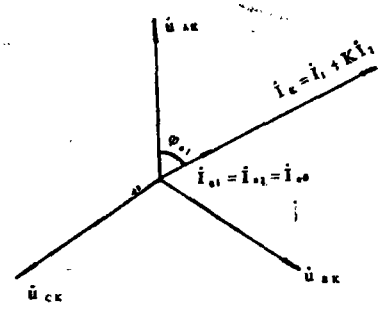

图 1 — 2

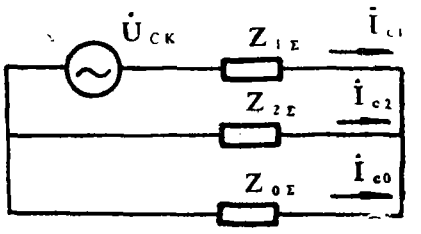

图1—3

图中φ_{e1}为综合阻抗　$Z_\Sigma=Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}$的阻抗角。

同理两相接地故障$K^{(A.B.0)}$的序网图如图 1 — 3 示。

并有$\dot{I}_{c1}+\dot{I}_{c2}+\dot{I}_{c0}=0$　　（1—2）

$$及\quad \dot{I}_{c1}=\frac{\dot{u}_{eK}}{Z_{1\Sigma}+\dfrac{Z_{2\Sigma}\cdot Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}}}\qquad（1-3）$$

$\dot{u}_{eK}$，$\dot{I}_{c1}$，$\dot{I}_{c2}$，$\dot{I}_{c0}$及$\dot{I}_K=\dot{I}_1+K\dot{I}_2$

的向量关系如图 1 — 4 示。

图中φ_{e2}为综合阻抗：

$Z_\Sigma''=Z_{1\Sigma}+\dfrac{Z_{2\Sigma}\cdot Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}}$的阻抗角。

由图 1 — 2 及图 1 — 4 可见，如$\varphi_{e1}\doteq\varphi_{e2}$则故障类型由$K^{(A.0)}$转变为$K^{(A.B.0)}$时，负序电流分量$\dot{I}_2$将前移约60°。由于此时$I_2$在操作电流中起主要作用，故此时操作电流$\dot{I}_1+K\dot{I}_2$亦前移约60°。

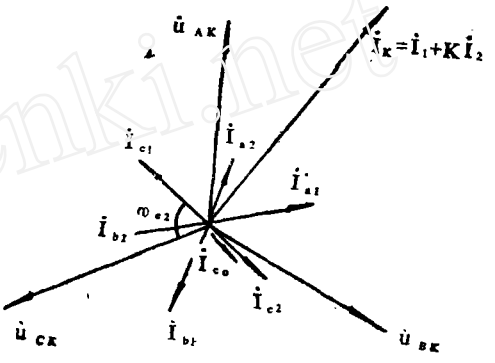

图 1 — 4

同理，对于其它类型的转换性故障可得出如表 1 所示结论。

表 1　在故障类型转换时I_1+KI_2操作电流发生的相位变化

转换后 \ 原故障 $\dot{I}_{ks}$ 角度前移		单相接地			两相接地			两相相间短路		
		A	B	C	A B	BC	C A	A B	BC	C A
两相接地	A B	+60°	−60°	—	—	—	—	0	—	—
	BC	—	+60°	−60°	—	—	—	—	0	—
	C A	−60°	—	+60°	—	—	—	—	—	0
三相短路		0	−120°	+120°	−60°	+180°	+60°	−60°	+180°	+60°

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在故障类型转换时操作电流$\dot{I}_1+K\dot{I}_2$的相位的变化将引起线路两侧操作电流相位相对关系的紊乱，影响保护的动作性能。

3．在单相重合闸的非全相运行中，当健全相又发生故障时相差保护可能拒动。其主要原因是由于在断线处出现纵向电压产生较大的纵向负序电流，而使线路两侧操作电流的相角差增大而引起的。如果我们将非全相运行状态看成是负荷状态。那么此时保护的拒动亦可以看作是受负荷状态的影响引起的。

4．采用I_1+KI_2作为操作电流的相差高频保护存在的另一个问题是在单侧电源供电线路中当被保护线路内部发生三相短路时，受电端I_1+KI_2的操作电流变为零。而在闭锁式的相差高频保护中广泛采用无操作电流“有态”的操作方式，这样受端保护在操作电流为零时会发出连续的高频讯号，从而将两侧保护闭锁，引起保护拒动。

由上述分析可见，采用I_1+KI_2的操作电流的相差高频保护还存在一些问题。所以我们希望能寻找一种新的操作电流，以使保护的动作性能有所改善。

二　采用正序电流突变量的操作电流

由分析知，为使保护的动作性能得到改善，新的操作电流必须满足如下条件：

1．能反映各种类型的故障，即在各种故障情况下均有相当的幅值，不会出现零操作电流状态。

2．不受或少受故障前系统负荷状态的影响。

3．在故障类型转换时，操作电流的相位不变化或变化甚小。

4．非全相运行时运行相又发生故障时相差高频保护能正确动作。

众所周知，负序和零序电流分量不能单独作为操作电流，而正序电流分量势必受短路前线路负荷状态的影响。只有正序电流突变量能较好地满足上述要求。

所谓正序电流突变量也就是短路附加状态中的正序电流分量，也可称为正序电流的故障分量。

1．正序电流突变量在各种短路时均有较大幅值，且不受负荷状态的影响。

对于各种类型的故障，其短路附加状态可以用图2—1示序网表示。

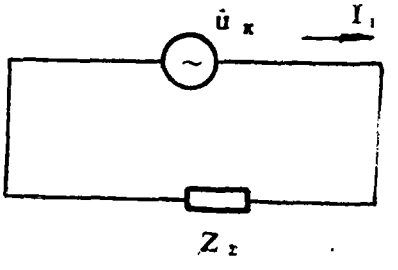

图2—1

$\dot{U}_K$为各种故障对应的特殊相短路前故障点的电压。

$\dot{I}_1$为对应特殊相的正序电流。

Z_Σ为综合阻抗，对于不同类型的故障Z_Σ值为：

单相接地　$Z_\Sigma=Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}$

两相接地　$Z_\Sigma=Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}\cdot Z_{0\Sigma}/(Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma})$

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

两相短路　$Z_{\Sigma}=Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}$

三相短路　$Z_{\Sigma}=Z_{1\Sigma}$

由图2—1得：

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_K}{Z_{\Sigma}}$$

可见无论对于何种类型的故障，正序电流的突变量除和短路类型及线路参数有关外，还决定于故障点故障前电压，而一般情况这一电压接近线路的正常额定电压 u_N，所以I_1是有较大幅值的。

上述分析还表明，正序电流故障分量几乎不受故障前的负荷状态的影响。而仅取决于系统的固有参数。此外，在单侧电源线路上发生内部三相短路时，受电端也存在正序电流故障分量。不会出现零操作电流的现象。

2．在故障类型转换时，正序电流的故障分量的相位变化较小。

我们以$K^{(A,0)}$转换为$K^{(A,B,0)}$为例进行分析。

两种类型的故障的复合序网分别如图1—1和图1—3所示，其对应的正序电流的故障分量的向量图分别如图2—2和图2—3所示。

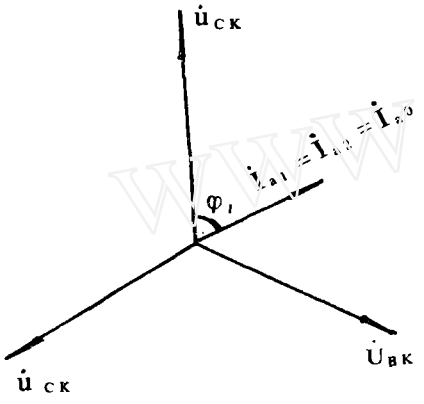

图2—2

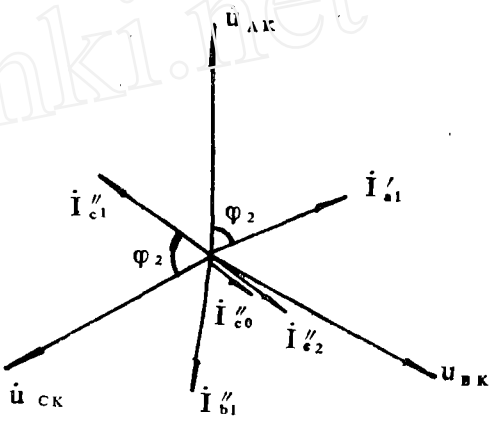

图2—3

图2—2中φ_1决定于$Z'_{\Sigma}=Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}$的阻抗角。

图2—3中φ_2决定于$Z''_{\Sigma}=Z_{1\Sigma}+\frac{Z_{2\Sigma}\cdot Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}}$的阻抗角。

可见当故障类型由$K^{(A,0)}$转变为$K^{(A,B,0)}$时，I_{ai}相对于$\dot{U}_{AK}$的相角将由φ_1变为ϕ_2。

也即，当采用正序电流突变量作为操作电流时，在这种转换故障时，操作电流的相位向后偏移量为：

$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1 \qquad (2-1)$$

由各自的序网及向量图得：

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\begin{cases} \dot{I}'_{a1} = \dfrac{\dot{u}_{AK}}{Z_{1\Sigma}+Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}} = \dfrac{\dot{u}_{AK}}{Z_{\Sigma}'} \\ \dot{I}''_{a1} = \dot{I}''_{a1} \cdot e^{-j120^\circ} = \dfrac{\dot{u}_{AK}}{Z_{1\Sigma}+\dfrac{Z_{2\Sigma}\cdot Z_{\Sigma}}{Z_{2\Sigma}+Z_{0\Sigma}}} = \dfrac{\dot{u}_{AK}}{Z_{0\Sigma}} \end{cases} \qquad (2-2)$$

由式（2—2）可见，$\dot{I}'_a$和$\dot{I}''_a$的相位的变化，仅由于阻抗Z'_Σ和Z''_Σ的阻抗角不同而引起的。

实际系统中可认为$Z_{1\Sigma}=Z_{2\Sigma}$。我们另外设零序综合阻抗$Z_{0\Sigma}$与正序综合阻抗Z_{1M}的关系为$Z_{0\Sigma}=A\cdot e^{j\alpha}\cdot Z_{1\Sigma}$。则有：

$$\begin{cases} Z_{\Sigma}'=Z_{1\Sigma}(2+Ae^{j\alpha}) \\ Z_{\Sigma}''=Z_{1\Sigma}\left(1+\dfrac{Ae^{j\alpha}}{1+Ae^{j\alpha}}\right) \end{cases} \qquad (2-3)$$

由式（2—1）（2—2）和（2—3）得：

$$\Delta\varphi=\arg\left[\frac{1+\dfrac{Ae^{j\alpha}}{1+Ae^{j\alpha}}}{2+Ae^{j\alpha}}\right] \qquad (2-4)$$

当$Z_{0\Sigma}$和$Z_{1\Sigma}$阻抗角相等时，即$\alpha=0$时，由式（2—4）得$\Delta\varphi=0$，即故障类型由$K^{(A\cdot 0)}$转变为$K^{(A\cdot B\cdot 0)}$时，操作电流的相位不发生变化。

当$\alpha\neq 0$时，A与α的不同值造成的$\Delta\varphi$的角度如表2所示。

表2　单相短路转换成两相接地短路时正序电流故障分量发生的相位移

α \ A（Δφ）	0.5	0.7	1	1.2	1.5	2.0	3.0
0°	0	0	0	0	0	0	0
5°	0.17	0.44	0.83	1.07	1.39	1.83	2.46
10°	0.32	0.87	1.66	2.14	2.78	3.67	4.93
20°	0.69	1.68	3.27	4.24	5.54	7.32	9.88
35°	0.79	2.68	5.50	7.24	9.57	12.79	17.38
45°	0.68	3.09	6.78	9.07	12.15	16.40	22.45

由表中数据可见在故障类型转换时$\Delta\varphi$是较小的，如当$A=3$、$\alpha=20°$对$\Delta\varphi=9.88°$，所以采用这种操作电流，在发生这种故障类转换时的相位变化不会对保护的动作性能产生明显的影响。

对于其它类型的转换故障，我们得出的典型数据如表3所示。从此可见，正序电流故障分量发生的相位移是很小的。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3　故障类型转换时正序电流故障分量发生的相位移

A及α ＼ 类型 / Δφ		$K^{(1.0)}\to K^{(2.0)}$	$K^{(1.0)}\to K^{(3)}$	$K^{(2.0)}\to K^{(3)}$	$K^{(2)}\to K^{(3)}$
A = 0.9	α = 15°	2.1	4.6	2.6	0
A = 0.9	α = 30°	4.0	9.2	5.2	0
A = 1.5	α = 15°	4.2	6.4	2.3	0
A = 1.5	α = 30°	8.2	12.8	4.6	0
A = 2.3	α = 45°	18.5	24.2	5.6	0

图 2 — 4 和图 2 — 5 分别是单相接地短路转换成两相接地短路和两相短路转换成三相短路时两种操作电流的波形变化情况。曲线 1 和曲线 2 分别对应的是I_1+KI_2和正序电流故障分量（DI_1）。绘制曲线所采用的数据是利用EMTP程序对一个220kV双端电源线路进行计算得出的。线路等效成π型网络，并考虑了导线间互感影响。

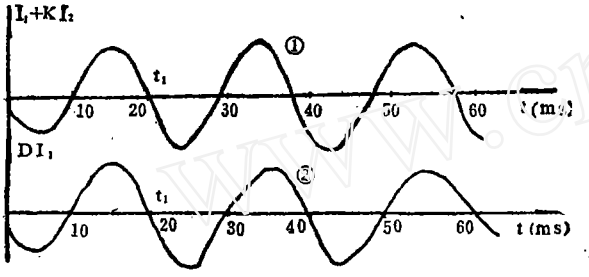

图 2 — 4　$K^{(A,0)}$转变为$K^{(A,B,0)}$ t_1时刻发生转换

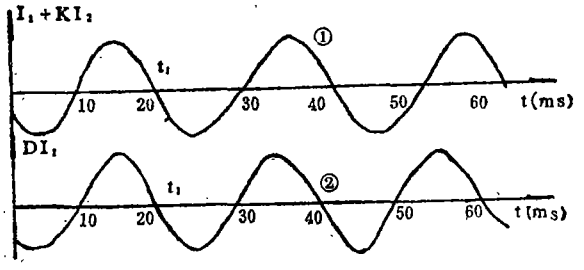

图 2 — 5　$K^{(A,B)}$转变为$K^{(3)}$ t_1时刻发生转换

从图 2 — 4 和图 2 — 5 可见在t_1时刻发生故障类型转换时，I_1+KI_2的操作电流产生了较大的相位变化，而正序电流故障分量（DI_1）操作电流几乎不产生相位变化。

3．采用正序电流故障分量作为操作电流在非全相运行中运行相又发生故障时能正确判断两侧操作电流的相位。

我们把纯粹的非全相运行状态看作“负荷状态”。运行相上又发生故障时的“短路附加状态”中仅仅在短路点有一个电势。因而在内部短路和外部短路时两侧正序电流的故障分量的相位关系总是正确的。可以保证相差高频保护的正确动作。

综上所述，采用正序电流的故障分量作为操作电流可以使相差高频保护的性能得到很大提高。它可以不受负荷电流的影响，从而在长距离重负荷线路上受端发生三相短路时不会发生相继动作现象。在非全相运行中运行相又发生短路时也不会拒动。单侧电源

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

线路内部三相短路时受端操作电流也不为零从而仍旧可以进行正确的比相。这一些都表明采用这种操作电流是比较理想的。

三　正序电流突变量操作电流的实现

为求出正序电流突变量，首先必须求出正序电流。这是比较简单的，而后再求出正序电流的突变量，这一点对模拟型保护是比较困难的，但对微机保护是很容易实现的，其基本过程是在保护启动后求出并保留故障前一周内正序电流的负荷值，而后将故障后求出的各时刻正序电流值和对应时刻的负荷值相减，即可得出正序电流突变量的值。

四　存在的问题

采用正序电流突变量作为相差高频保护的操作电流可以使保护的性能有较大提高，但也存在一些问题，主要是长期准确获得这种操作电流比较困难，由于突变量的值是利用故障前后对应采样点的值相减得出的，当这些点的对应关系出现偏差时，就会引起操作电流波形的畸变影响保护的动作性能。导致这种对应点不对应的原因主要有二，一是系统频率的变化，当电力系统频率偏离额定值（如50Hz）时，各相电流电压的周期也将偏离额定值（20ms），而对模拟量的采样速率是据模拟量的标准周期选择的，所以模拟量的周期的变化必将引起误差，另一点是对模拟量的采样周期的不精确造成的，这一点受定时器特性及晶振频率的精确性的影响虽然在一个采样间隔内误差很小，但累计误差却是很大的。

如当系统频率由50Hz（额定值）变为49.8Hz时，每周内引起的角度误差为：

$$\Delta\varphi_1=\frac{0.2}{50}\times 360^\circ=1.44^\circ$$

五个周波内　　$\Delta\varphi_5=1.44^\circ\times 5=7.2^\circ$

这一角度误差不会对保护造成严重影响，但如果长期采用这种方法所引起的误差是很大的。例如1秒后，$\Delta\varphi=1.44^\circ\times 50=72^\circ$，这一误差将对保护造成严重影响，况且多数线路故障情况下系统周波变化远大于0.2Hz，这一误差影响更严重，但我们可以认为在几个周波内，系统频率不会有较大偏移。我们必须提高算法对这种误差的适应能力，否则，这种误差将影响保护的正确动作[1]。

五　结论

鉴于相差高频保护的广泛应用，为进一步提高保护的动作性能，继电保护工作人员作出了不少努力，操作电流的选择合理与否对保护影响很大，选择一种合理的操作电流将十分有利于保护性能的提高。我们选择正序电流突变量是一种新的尝试，在由MCS—51单片机构成的相差高频保护中我们已实现了这一方法，简单接线试验表明该方法是可行的。由于尚缺少实际运行经验，所以还有待在运行中进一步考验和改进。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

轨迹式行波保护数字仿真及动作特性分析

山东工业大学　　陈　青　江世芳

摘要

本文对轨迹式行波保护的方向继电器进行了数字仿真。并利用电力系统电磁暂态计算的贝瑞隆法对山东邹—潍500kV输电线路一次系统在各种故障状况下的暂态过程进行了仿真计算。利用仿真计算的结果分析了轨迹式方向继电器（LR—91型）在各种简单故障下的动作轨迹特性，分析了弧光电阻对动作轨迹的影响。本文对继电器在各种转换性故障过程中的动作特性进行了仿真分析，对其是否适用于串补电容线路进行了仿真计算。指出了该继电器在某些方面所存在的缺陷。

引　　言

超高压输电线路的迅速发展，对电力系统继电保护提出了更高的要求，致使常规保护已不能满足超高速动作的需要。近几年来，具有超高速功能的各类行波保护得到了较大的发展。轨迹式行波保护是一种原理上比较新颖的方向保护，它利用电流电压的暂态变化特征（即Δu_A—Δu平面上的暂态轨迹）[1]来检测故障的方向，具有许多优点。鉴于国内已大量引进了该套装置（LR—91型），为更好地掌握其原理，提高系统运行的安全可靠性，本文对其进行了数字仿真及分析，目的在于探讨其动作轨迹的变化规律，为生产运行提供一定的理论依据。

仿真数字模型

首先建立系统暂态，继电器测量回路等各个部分的数字模型，分别编制其程序。通过数据文件将其按先后次序连接起来，形成所需要的分析信号。其总体框图如图1所示。

1．电力系统暂态计算的数学模型

本文利用电磁暂态计算的贝瑞隆法建立各类系统暂态过程的数学模型。该法以单相系统为基础。可利用模变换理论（α，β，0变换矩阵）将相互耦和的三相系统变换为三

参考文献

1.《单片机相差高频保护的研究》，宋英义　华北电力学院硕士论文

2.《超高压输电线路故障分析与继电保护》贺家李　葛耀中

3.《超高压电网继电保护的特殊问题分析》，　华北电力学院

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net