

差动保护运行动作特性的相量分析

陈德树, 陈卫, 尹项根, 张哲

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 差动保护的穿越制动特性依赖于制动电流的选取, 每种制动方式有其自身的制动特性。不同方式之间如何比较, 是需要有一种公用的方法, 在同等条件下进行分析才行。提出用“运行动作特性”分析方法, 直接以两侧电流的相量关系来表述动作特性, 这样各种制动方式就可以有共同的基础。

关键词: 差动保护; 制动特性; 相量分析

中图分类号: TM774

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)04-0001-03

1 引言

电力系统的继电保护广泛采用差动保护原理。为防止保护区外短路时, 由于在差动回路出现不平衡电流, 导致差动保护误动作, 通常采用“穿越制动特性”。其一般的表达式为:

$$D = (I_d - I_0) (I_d - k_1 I_T - I_{01}) (I_d - k_2 I_T - I_{02}) \quad (1)$$

其中(以两端差动为例):

$$\dot{I}_d = \dot{I}_M + \dot{I}_N; \quad \dot{I}_T = f(\dot{I}_M, \dot{I}_N);$$

I_0, I_{01}, I_{02} 为整定值;

$$k_1 = \frac{I_0 + I_{01}}{I_{T01}};$$

$$k_2 = \frac{k_1 I_{T02} - I_{01} + I_{02}}{I_{T02}} =$$

$$k_1 + \frac{I_{02} - I_{01}}{I_{T02}} = \frac{I_0 + I_{01}}{I_{T01}} + \frac{I_{02} - I_{01}}{I_{T02}};$$

I_{T01}, I_{T02} 为设定的拐点制动量;

D 为动作信号。

式(1)也可写成: $D = d_0 d_1 d_2$, $d_0 = (I_d - I_0)$ 。当 $I_d - I_0$ 成立时, $d_0 = 1$, 否则 $d_0 = 0$ 。同理, $d_1 = (I_d - K_1 I_T - I_{01})$, $d_2 = (I_d - K_2 I_T - I_{02})$ 。式(1)和图1显示的是基于原始判据的动作特性表达方式。这种表达方式忠实于原始判据, 但对运行分析来说不够直观, 因为还要经过转换才能观察到两侧电流 I_M 和 I_N 处于什么状态时, 保护会引起误动或者不会误动。为此, 有一种以

$$I_M = f(I_N) \quad (2)$$

表达的临界动作表达式。图2是设 I_M 与 I_N 相位差180°时的动作关系, 是与式(1)为两折线式时的情况, 由式(1)推演而成。当 I_M 与 I_N 的相位差不是180°时, 此曲线将发生变化。必须以曲线簇的形式

才能较全面地反映各种情况下的运行动作特性。

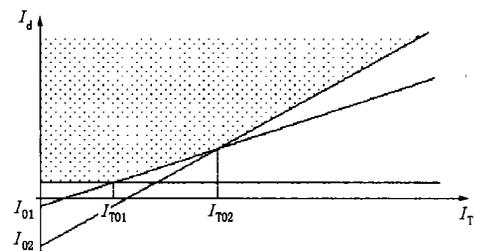


图1 三折线式制动特性

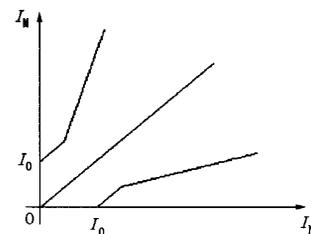


图2 $I_M = f(I_N)$ 的动作特性

为了更好地反映差动保护制动原理的运行动作特性, 本文提出尽可能地用相量分析方法以克服上述的不足。

2 差动保护制动特性的相量分析方法

式(1)的动作判据, 实际上是三个判据 d_0, d_1, d_2 的逻辑组合。作特性分析时, 要求对每个判据作单独的分析, 最后才进行逻辑组合。其中 d_1 和 d_2 的形式是一样的, 这里只讨论 d_1 即可。

假定 \dot{I}_M, \dot{I}_N 都是纯正弦量, 其他分量如直流分量、谐波分量可作为引起误差的因素来处理。

2.1 d_0 的运行动作特性

设两电流中较大的为 I_M , 较小的为 I_N 。则 d_0 判据可写成:

$$\left| \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_M} \right| \left| 1 + \frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_M} \right| \quad (3)$$

令 $\frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_M} = J$, 此处以 \dot{I}_M 作为基准值, 则 J 是 \dot{I}_N 的归一化形式相对值, 也可说成是比值。式(3)可写成 $|1 + J| \left| \frac{I_0}{I_M} \right| = A$ 。对于临界动作, 有

$$\frac{1+J}{A} = 1 e^{j\delta}, \text{ 即 } J = -1 + A e^{j\delta} \quad (4)$$

图3便是 d_0 的基于相量分析的运行动作特性。即 \dot{I}_N 的相对值落在圆内时判为外部短路, 是闭锁区。在圆外时则满足 d_0 判据的动作条件。图中, δ 为 J 的偏移角, δ_1 为临界特性上 J_1 的偏移角, δ_{max} 为最大偏移角, 当 $\delta > \delta_{max}$ 时, 不管任何比值, d_0 判据都会动作, 也反映在区外短路时 d_0 判据允许的最大角误差。超出此值时, 则必须依靠 d_1 或 d_2 判据进行制动。从图3, 还可看出一些其他关系, 如 δ_{max} 与 $|J|$ 的关系等。因主要靠 d_1 、 d_2 防止区外 T_A 饱和误动, 这里不再进一步讨论。

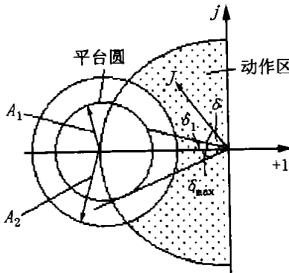


图3 d_0 的运行动作特

从图3可见, 半径 $A_2 > A_1$, 对应的 $I_{M2} < I_{M1}$, 即半径与 I_M 值成反比。

2.2 d_1 判据运行动作特性

d_1 判据与制动电流 I_T 有关。常用的 I_T 有下列几种组成方式。其共同的出发点是在区外短路时, 制动电流与穿越电流成正比。在理想状态下, 制动电流等于负荷电流。方案一:

$$I_T = \frac{1}{2} |\dot{I}_M - \dot{I}_N| \text{ 一和、差制动}$$

方案二:

$$I_T = \text{Max}(|\dot{I}_M|, |\dot{I}_N|) \text{ 一最大值制动} \quad (5)$$

方案三:

$$I_T = \frac{1}{2} (|\dot{I}_M| + |\dot{I}_N|) \text{ 一模值和制动}$$

(1) 和、差制动的相量分析

和、差制动判据如下:

$$|\dot{I}_M + \dot{I}_N| - \frac{k_1}{2} |\dot{I}_M - \dot{I}_N| - I_{01}, k_1 < 2$$

令 $\dot{I}_M = I_M e^{j0}$, 两侧同除以 \dot{I}_M 得:

$$|1 + J| - \frac{k_1}{2} |1 - J| - \frac{I_{01}}{I_M}, J \neq 1 \quad (6)$$

先分析 $I_{01} = 0$ 时的情况, 即图1的制动特性线过坐标原点。此时式(6)可写成

$$\frac{1+J}{1-J} = \frac{k_1 e^{j\delta}}{2}, 360^\circ > \delta > 0^\circ \quad (7)$$

由参考文献[1]的式(F40, F41)可得临界动作时, J 的轨迹为一圆, 其圆心、半径分别为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{O} &= \frac{-4 - k_1^2}{4 - k_1^2} \\ &= \frac{4k_1}{4 - k_1^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式(8)即是动作判据 d_1 的动作特性。如前所述, 这是在 $I_{01} = 0$ 时的特性, 即是 d_1 制动特性曲线过坐标零点时的特性。其相量特性见图4。由于 $J \neq 1$, 所以图中阴影区为动作区。根据上面分析, 图中的制动圆在给定的 k_1 值的情况下是固定的。

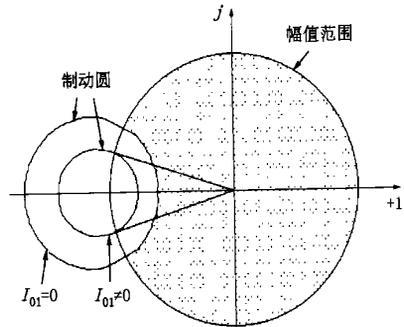


图4 和差制动 d_1 判据的动作特性

下面分析一下 $I_{01} \neq 0$ 时的情况。式(6)由于多了一个依赖于 I_M 的常数项, 便不能简化成如式(7)那样的二阶线性分式, 也就是 J 的轨迹不再是普通的圆或直线等的二次曲线。本文采用数字仿真方法。此时, 式(6)的临界式写成如下形式:

$$|1 + J e^{j\delta}| - \frac{k_1}{2} |1 - J e^{j\delta}| + \frac{I_{01}}{I_M} = 0, J \neq 1$$

当给定 k_1 和 $\frac{I_{01}}{I_M}$ 后, 可用搜索方法找出与某一值对应的 J_1 、 J_2 值, 图4是一个具体的实例, 当 k_1 和 I_{01} 给定时, 每一个 I_M 值将会得出一条曲线, 也就是说, 可以得到与 I_M 值相关的一组曲线。

(2) 最大值制动的运行动作特性

当制动量 I_T 采用最大值时, 假定式(1)的 $I_{01} = 0$, 则有

$$\left. \begin{aligned} |\dot{I}_M + \dot{I}_N| & k_1 I_M, k_1 < 1 \\ |1 + J| & k_1 \\ \text{或 } 1 + J &= k_1 e^{j\phi} \\ J &= -1 + k_1 e^{j\phi} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其特性见图5。

当 $I_{01} \neq 0$ 时, 式(9)可改写为 $|1 + J| = k_1 - \frac{I_{01}}{I_M}$, 相应的, 临界特性为

$$J = -1 + \left(k_1 - \frac{I_{01}}{I_M}\right) e^{j\phi} \quad (10)$$

由式(10)可见, 当 I_{01} 为正值时, 其动作特性圆将比 $I_{01} = 0$ 时缩小, 即闭锁区缩小, 动作区扩大。而随着 I_M 的增大, 差别逐渐减小。

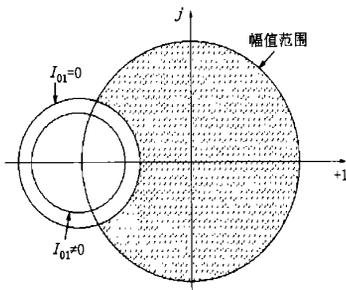


图5 最大值制动的 d_1 判据动作特性

(3) 模值和制动的运行动作特性

同样, 先令式(1)的 $I_{01} = 0$, 模值和动作判据变为

$$\left. \begin{aligned} |\dot{I}_M + \dot{I}_N| & \frac{k_1}{2} |I_M + I_N|, k_1 < 2 \\ |1 + J| & \frac{k_1}{2} (1 + J), J \neq 1 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

令 $J = J e^{j\phi}$, 解式(11)可得 J 的临界动作特性为

$$J^2 + \frac{4}{4 + k_1^2} \left[2 \cos \phi - \frac{k_1^2}{2} \right] J + 1 = 0 \quad (12)$$

式(12)的 J 的轨迹, 不是一个圆, 还是适宜用数值方法求解。 k_1 整定后, 在 $0 \sim 360^\circ$ 中均匀取值, 用探索法可求出此时的 J 值, 如图6所示。图中 k_1 取 0.5。

当 $I_{01} \neq 0$ 时, 式(11)变为

$$|1 + J e^{j\phi}| - \frac{k_1}{2} (1 + J) + \frac{I_{01}}{I_M} = 0 \quad (13)$$

用仿真方法求得的结果见图6。图中取 $\frac{I_M}{I_{01}} = 30$ 。

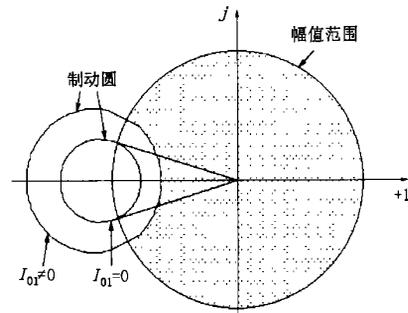


图6 模值和制动 d_1 判据的动作特性

3 在相量分析方法的基础上, 各种制动方法的比较

如上述, 可以将式(5)的三种制动方法置于同一条件下进行分析比较。式(5)中和、差制动方式与模值和制动方式的系数都取 $k_1/2$ 。这样可使在外部短路的理想状态下三种制动方式的制动量相同。因此, 所采用的制动系数取同一值以便在同等条件下进行比较。图7是在此条件下的一种例证。由此, 可以得出几种结论:

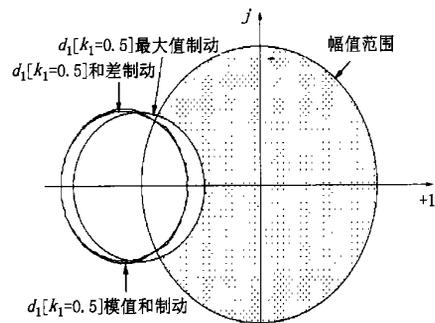


图7 三种制动方式的比较

模值和制动的动作特性与和、差制动的动作特性非常接近。

最大值制动是三者之中制动能力最强的一种, 反过来说, 在内部短路时抗 CT 饱和能力也稍弱。

k_1 值的选取, 有两种不同的出发点, 本文的出发点是为了使外部故障时不同的制动方式的制动能力相近, 因而各种制动方式下的 k_1 值相同。另一种出发点是在单侧电源内部短路时, 制动能力相同, 这样 k_1 会差一倍。

对多侧(多支路)差动保护来说, 靠近外部短路侧, 本应为最大值支路, 但出现 CT 严重饱和时, 其电流可能小于另一支路, 因而使最 (下转第7页)

参考文献:

- [1] Chowdhury B H, Wang Kunyu. Fault Classification Using Kohonen Feature Mapping[C]. Proceedings of the Conference on Intelligent System Applications to Power System. USA, 1996, 194-198.
- [2] 张际先. 神经网络及其在工程中的应用[M]. 机械工业出版社, 1996.

- [3] 索南加乐. 同杆双回线的六序选相原理[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11.

收稿日期: 2001-09-30; 修回日期: 2002-03-09

作者简介: 郭付军(1976-), 男, 研究生, 研究方向为电力系统及其自动化; 林军(1959-), 男, 副教授, 从事电力系统微机保护、故障测距等研究与教学工作。

A method of fault pattern recognition on same-tower double-circuit lines using Kohonen neural network

GUO FuJun, LIN Jun

(Dept. of Electric Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: This paper gives an introduce of Kohonen neural network and its use in fault pattern recognition on same-tower double-circuit lines, finding out the neural network works well at recognizing all fault patterns on all lines except those near bus lines, proposing several ways to better its ability with false recognition, at last its pattern recognition quality is analyzed.

Keywords: Kohonen neural network; same-tower double-circuit lines; pattern recognition

(上接第3页) 大值制动的制动能力减弱。此时其制动能力反而不如模值和制动。

对相量差动, 当发生轻微内部故障时。差流较小, 而穿越负荷电流使制动电流较大。故应以灵敏度为重。宜用和/差制动方法。对故障分量差动, 不可能出现两侧电流相位差在 180 附近, 此时应以制动性能为重, 宜取最大值制动方式。

$I_{01} = 0$ 的情况比较复杂, 不太利于同条件下比较。但其基本属性与 $I_{01} = 0$ 时是一致的。上述结论也是基本适用的, 此处暂不做进一步讨论。

4 结束语

本文试图用相量分析方法作为运行特性分析的

共同基础, 对三种常用的制动方式进行了分析比较, 文中表明, 这种方法及其分析结果有参考意义。

参考文献:

- [1] 华中工学院. 电力系统继电保护原理与运行[M]. 水利电力出版社, 1981.

收稿日期: 2001-11-27

作者简介: 陈德树(1930-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护等领域的教学、研究工作; 陈卫(1970-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护与故障分析; 尹项根(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护等领域的教学、研究工作; 张哲(1962-), 男, 教授, 从事电力系统继电保护等领域的教学、研究工作。

The phasor characteristic analysis of differential protection

CHEN De-shu, CHEN Wei, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074, China)

Abstract: The characteristic of through current restraint depend on selection of restraint current. The different restraint schemes have distinct characteristic. In order to compare the various schemes using general method under the same condition, the novel operation characteristic analyzing method is proposed. The phasor relationship of currents between two terminals is employed to represent the operation characteristic in this paper.

Keywords: differential protection; restraint characteristic; phasor analysis