

基于广义求差法的保护分类与单项采集异常速算

万 利

(吉林省电力有限公司培训中心, 吉林 长春 130022)

摘要: 基于广义求差法的原理和变量对应关系, 探讨了差动保护的一种分类方法。将其分成对应型、替代型、固有相位差型。探讨了区内短路电流与差电流的关系。对广义求差法在各种类型中的应用给出评价。对含有“替代采集”的替代型保护进行分析说明。除两个特例外, 证明了单项采集异常速算规律, 提出“系数减1法则”。证明了固有相位差型差动保护单项采集异常的结论符合“系数减1法则”。

关键词: 广义求差法; 差动保护分类; 应用情况; 替代采集; 系数减1法则; 规律

Protection classification and rapid calculation of single acquisition abnormality based on generalized differentiation method

WAN Li

(Jilin Electric Power Company Limited Training Center, Changchun 130022, China)

Abstract: This paper discusses one classification method of differential protection based on the correspondence between the principle and variable of the generalized differentiation method. It is divided into type of correspondence, type of replacement, and type of fixed phase difference. The relationship between the internal short circuit current and differential current is discussed. The various types of application of the generalized differentiation method have been evaluated. The type of replacement protection regarding to the “replacement acquisition” is analyzed and explained. Other than the two exceptions, the principle to the rapid calculation of the single acquisition abnormality has been proved and a rule named “rule of coefficient minus one” has been raised. And it proves the result of the fixed phased differential protection of single acquisition abnormality complies with the “rule of coefficient minus one”.

Key words: generalized differentiation method; differential protection category; application situation; replacement acquisition; rule of coefficient minus one; law

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)04-0015-04

0 引言

在文章《采集异常、广义求差法及其在母差保护中的应用》^[1]中提出了广义求差法。

该方法指: 用保护采集电流变量和 A 与结点电流变量和 N 之差分析差动保护动作特性的方法。在结点所有正常支线指向结点为正方向下有:

$$I_{\text{差}} = A - N \cdot [I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_m] - (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) \quad (1)$$

本文基于广义求差法的变量对应理论对差动保护类型进行分类, 对该方法的应用进行说明, 解析内部短路时, 差电流与短路电流相等或不等的原由。

由于现场出现的采集异常, 以单一采集异常为主。本文参照所述保护分类, 应用广义求差理论提出或证明了单一采集异常的速算规律。

1 差动保护的分类与广义求差法的应用

1.1 基于广义求差法对保护分类

广义求差法是建立在“将一次电流变量同时表达成采集电流变量与结点电流变量”的基础上, 是同名变量的合并计算。如果再提升一下, 从采集变量与结点电流变量相对独立的角度对保护分类, 就可以在全新的角度重新审视内部短路的计算特性。

为此可将差动保护分成对应型、替代型、固有相位差型。

对应型:

称采集电流变量数与结点电流变量数相等且完全对应、无采集异常又无内部短路时就可以达到保护平衡的差动保护为对应型差动保护。

母线差动、线路纵差、Y/Y-12 变压器纵差等为

对应型差动保护。

替代型（非对应型）：

称采集电流变量数小于结点电流变量数，但可以通过结点电流条件进行替代采集达到保护平衡的差动保护为替代型差动保护。也可称为非对应型。

替代型的典型例子为发电机不完全纵差保护。如图 1^[2]。

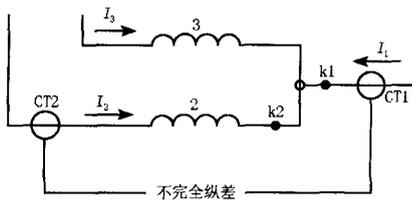


图 1 发电机不完全纵差保护接线图

Fig.1 Schematic of the incomplete longitudinal differential protection of the generator

固有相位差型：

采集电流变量数与结点电流变量数相等，但采集电流变量与结点电流变量间在平衡点存在固有相位差的差动保护，称为固有相位差型差动保护。

如 Y/Δ、Δ/Δ 结线的变压器，将电磁交换点视为结点，在无内部故障时，结点电流和设备引出线电流有固定的相位差；Y/Δ 结线的变压器，采用相位补偿时，采集电流（输入继电器的电流）和设备引出线电流有固定的相位差。该类型也包括用软件实现相位补偿的数字式差动保护。

固有相位差型的典型例子如图 2。

1.2 内部短路时差电流的几个计算结论

以下设保护没有采集异常，并已达到平衡点。

结论 1：对对应型保护有：

在保护平衡且没有采集异常时，内部短路，差电流等于短路电流。可以用广义求差法计算短路电流。所谓可以计算，指可以将 $-I_k$ 表示成式 (1)，参与计算。

由于 A 和 N 中变量严格对应，无采集异常时，从公式 (1) 看，以 $-I_k$ 加入结点电流计算，结果只能是 I_k ，其它全部被“消掉”。

也可称这种情况为采集变量对结点变量的单层对应采集。有采集异常时，不影响单层采集的性质和分类，可以计算采集异常。

结论 2：对替代型（非对应型）保护有：

内部短路时，除引出线（如图 1 中 K1 点）短路外，差电流不等于短路电流。除引出线外，不可以用广义求差法计算短路电流。但可以计算单一采集异常对平衡点的影响和求取保护平衡的条件。

图 1 中 K1 点短路，不影响 I_2 和 I_3 的相等关系，替代关系成立。差电流等于短路电流。可以用广义求差法计算 I_k 。

也可称替代采集为采集变量对结点变量的多层采集。

这种替代采集可以用软件实现，CT 变比相同。

除引出线短路外，内部短路时，A 和 N 中除 $-I_k$ 不对应外还出现了替代关系不相等 ($I_2 \neq I_3$) 而产生不对应。这是结论 2 的根本原因。

结论 3：保护类型可以改变

如图 1，对替代型保护，如果被替代的结点支路 3 出现开焊故障并随即保护区内 K2 点短路，保护性质发生改变，变成有 CT2 变比异常的对应型差动保护。但由于 CT2 变比变成异常，内部短路时，差电流不等于短路电流。但却是广义求差法可计算或可表示的。

结论 4：对固有相位差型有：

对固有相位差型存在内部短路时差电流不等于短路电流的情况。

例如变压器 Y 侧为唯一电源，且保护区内 Y 侧引出线 A、B 相间短路， $I_{k0a} \neq I_k$ 。这显然是不对应且有“转角”联结造成的。广义求差法是同名矢量间的“和”、“差”运算，不含复数运算。也是广义求差法不可直接计算的。从采集效果看，不符合 KCL 结点电流定律， $\sum I \neq I_k$ 。

固有相位差型保护是多层且含“转角”的采集。

有了 1.1、1.2 的叙述，就可以根据不同类型的保护，相对准确地说明各类差动保护的动作用原理。

结论 5：

对替代型和固有相位差型差动保护，不可轻易称内部短路时，差电流的值等于短路电流。

2 单一采集异常的快速计算规律

广义求差法是求取差电流的计算式，更关心差电流的形成。例如最大电流为 1000 A 的短线路纵差，两端可以都选择 1500/1 或 1200/1 或 1000/1 的 CT 达到平衡。如果出现单一 CT 采集异常，按现有方法，都要通过两侧具体变比进行计算、合成求差。

如果能得到单一采集异常的普遍规律，就可以绕开 CT 的具体选择表示差电流。也是理论和工程的需要。

规律表达式应是 CT 在正常情况下提供的电流为基准的相对值、并且就是差电流、并且不应被确定在某个电流工作点上。广义求差法满足了这一要求。

现场最常见的是保护设计平衡后出现单一采集

异常(包括单一采集点的复故障),以下以此为条件进行分析。

2.1 系数减 1 法则

通过对式(1)的分析,采集变量与同名结点变量在计算结果中存在“系数减 1 法则”。

“系数减 1 法则”指将同名采集变量与同名结点变量相减后合成结果中的同名变量系数的过程。

有了该法则,可以不顾及对应变量,除后述两个特例外,直接得出 I_{K0} 结果。

固有相位差型不能用式(1)证明,需单独求证。

2.2 求证固有相位差型保护符合“系数减 1 法则”

以 Y/Δ-11 变压器为例,如图 2。

根据广义求差法确定正方向,将变压器视为结点,该结点是原边和副边功率的交换点(计算时采用减极性法则)。以 A 相为例,忽略励磁电流,当 $U_{AY}=U'_{A\Delta}$ 时,结点电流是 I_{AY} 和 $I'_{A\Delta}$ 。

将采集电流定义为输入差动继电器的电流,显见采集电流变量 I_{aY} 、 $I_{a\Delta}$ 与结点电流变量 I_{AY} 、 $I'_{A\Delta}$ 不对应。

改变观察角度,完全从导线和结点的固定联结和固定电磁转换进行论述。无内部短路时,设功率方向为由变压器 Y 侧流向 Δ 侧,所有 CT 标准变比为 1,结点处电压变比为 1。有:

$$I_{aY}=I'_{aY}-I'_{bY}=I_{AY}-I_{BY}=- (I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta}) = -I_{A\Delta}=-I'_{a\Delta}=-I_{a\Delta} \quad (2)$$

或:

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}=(I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta})=- (I_{AY}-I_{BY}) = - (I'_{aY}-I'_{bY})=-I_{aY} \quad (3)$$

即 $I_{aY}=-I_{a\Delta}$, $I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=0$, 保护不动作。

称式(2)或式(3)为变压器原、副边及其与保护采集接线的联系等式,简称联系等式。若设变压器变比为 1,也可以写出联系等式,实质相同。

实际变压器不满足 $U_{AY}=U'_{A\Delta}$ 和 $U_{BY}=U'_{B\Delta}$, 两端互感器变比也不同。但都可以用非矢量的系数配以其它方式找到平衡,它们包含在 CT 设计变比和平衡措施中。平衡后,可以认为差电流为 0,下述单一采集异常计算自然成立。

对于差电流接近 0 的情况也可以快速估算。

1) 正常运行时

$$I_{aY}=I'_{aY}-I'_{bY}=I_{AY}-I_{BY}=- (I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta}) = -I_{A\Delta}$$

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-I_{A\Delta}+I_{A\Delta}=0$$

2) CT 反接

Y 侧 CT 反接:

$$I_{aY}=-I'_{aY}-I'_{bY}=(-2I'_{aY}+I'_{aY})-I'_{bY}=-2I'_{aY}+(I'_{aY}-I'_{bY})=-2I'_{aY}+I_{AY}-I_{BY}=-2I'_{aY}-I_{A\Delta}$$

$$-2I'_{aY}-(I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta})=-2I'_{aY}-I_{A\Delta}$$

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-2I'_{aY}=-2I_{AY}$$

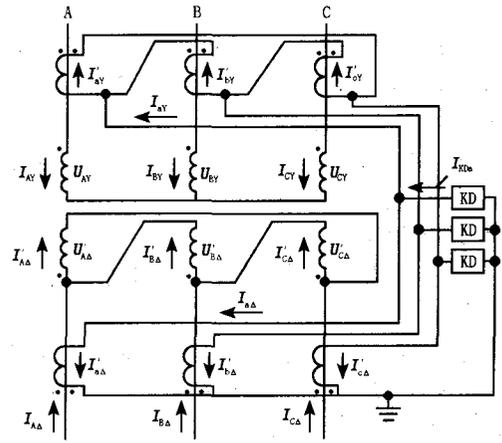


图 2 Y/Δ-11 变压器纵差保护接线图

Fig.2 Schematic of the Y/Δ-11 differential longitudinal protection of the transformer

同理可计算 Δ 侧 CT 反接:

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-I_{A\Delta}-I_{A\Delta}=-2I_{A\Delta}$$

3) 复故障: 设 Y 侧 CT 反接并变比错误(为计算变比的 1/3)

$$I_{aY}=-3I'_{aY}-I'_{bY}=(-4I'_{aY}+I'_{aY})-I'_{bY}=-4I'_{aY}+(I'_{aY}-I'_{bY})=-4I'_{aY}+I_{AY}-I_{BY}=-4I'_{aY}-(I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta})=-4I'_{aY}-I_{A\Delta}$$

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-4I'_{aY}=-4I_{AY}$$

4) CT 变比不对

CT 变比不对,指相对计算变比的比值 $1/k \neq 1$ 。

Y 侧 CT 变比选小,为计算变比的 1/3:

$$I_{aY}=3I'_{aY}-I'_{bY}=3I_{AY}-I_{BY}=2I_{AY}+(I_{AY}-I_{BY})=2I_{AY}-(I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta})=2I_{AY}-I_{A\Delta}$$

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=2I_{AY}-I_{A\Delta}+I_{A\Delta}=2I_{AY}$$

Δ 侧 CT 变比选小,为计算变比的 1/3:

$$I_{aY}=-I_{A\Delta}, I_{a\Delta}=3I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-I_{A\Delta}+3I_{A\Delta}=2I_{A\Delta}$$

5) 保护 CT 断线

Y 侧 CT 断线,有:

$$I_{aY}=0-I'_{bY}=-I'_{aY}+(I'_{aY}-I'_{bY})=-I'_{aY}+(I_{AY}-I_{BY})=-I'_{aY}-(I'_{A\Delta}-I'_{B\Delta})=-I'_{aY}-I_{A\Delta}=-I'_{aY}-I'_{a\Delta}=-I'_{aY}-I_{a\Delta}$$

$$I_{a\Delta}=I'_{a\Delta}=I_{A\Delta}$$

$$I_{KDa}=I_{aY}+I_{a\Delta}=-I'_{aY}-I_{a\Delta}+I_{a\Delta}=-I'_{aY}=-I_{AY}$$

同理可计算 Δ 侧 CT 断线得到:

$$I_{KD\Delta} = I_{aY} + I_{a\Delta} = -I'_{a\Delta} = -I_{A\Delta}$$

6) 求证结论

上述结论证明, 无内部故障时固有相位差型保护单一采集异常的计算符合系数减 1 法则。结论与矢量分析相同, 限于篇幅, 恕不展开。反过来也可以说, 这是广义求差法在固有相位差型的特殊应用。

求证结论告诉我们, 固有相位差型设备在求单一采集异常时(只限于此), 可以将引出线看成结点电流支线, 直接应用广义求差法计算相对值。

2.3 两个特殊例外

1) 替代型保护的保护限定替代采集的 CT 出现单项异常的计算不符合“系数减 1 法则”。

限于篇幅, 只举例给出结论性论述。见图 1。

在平衡点结点电流条件 $I_2 = I_3$ 、 $I_1 = 2I_2$ 。

CT1 定义为基准变比, 可以用式 (1) 求得 CT2 采用保护限定替代采集变比是基准变比的 $1/2$, $K=2$, 用 I_2 替代对 I_3 的采集求得平衡, CT2 无异常时:

$$I_{K0} = A - N = [I_1 + 2I_2] - (I_1 + I_2 + I_3) = I_2 - I_3 = 0$$

在平衡点, 如果 CT2 反接, 即 CT2 取负, 结点电流条件 $I_2 = I_3$ 、 $I_1 = 2I_2$ 不变。有:

$$I_{K0} = (A - N) = [I_1 - 2I_2] - (I_1 + I_2 + I_3) =$$

$$-3I_2 - I_3 = -4I_2 \text{ (是经 CT2 正常提供电流的 2 倍)}$$

$-4I_2$ 与 $-2I_2$ 不符合“系数减 1 法则”, 这是因 I_3 被 I_2 替代采集所形成的特殊情况。由于 $I_1 = 2I_2$, 用 $-4I_2$ 表示 I_{K0} , 结论正确。这是替代采集的特殊性。

2) 过采集变量计算属于例外, 计算结果就是过采集变量(含系数)本身。

3 结语

1) 基于广义求差法的变量对应理论, 对差动保护进行分类, 对各类型保护在内部短路时差电流是否等于短路电流, 结合广义求差法进行了较详细的分析和证明。这些分析和证明有利于克服一些含混的论述。

对广义求差法在各类型中的应用情况做出了总结。因而有参考价值。

这种分类方式不是按保护对象分类, 而是按对应情况分类, 如 Y/Y-12 和 Y/ Δ -11 变压器属于两种类型。

2) 单一采集异常(含复故障)依据广义求差法证明可以单独计算, 求出差电流, 也是相对该变量

无异常时提供的电流的相对值。除了过采集和替代采集两个特殊例子以外, 都符合“系数减 1 法则”。

如 CT 反接, I_{K0} 结果是 $-1-1=-2$ 倍电流; 采集电流系数是 K 倍的采集电流, 结果是 $K-1$ 倍电流, 它可为正、为负, 也可能是小数倍; CT 断线和保护欠采集, 结果是 $0-1=-1$ 倍电流。等等。

特别是证明了固有相位差型保护也符合“系数减 1 法则”规律。

注意到, 差动继电器是无方向继电器, 因此对上述单项异常计算结果中的正负号, 可以不理睬。

宏观上说, 有了上述相对结论就足够了, 如果一定要计算任意时刻的 I_{K0} 有名值, 可根据设计变比计算该变量电流的二次值, 乘以上述电流倍数即可。

求有名值的方法也适用于“两个特殊例外”。

采集点越多(如母差), 该方法相对其它方法越简便。

采用“系数减 1 法则”进行计算的是正常 CT 提供电流为基准的相对计算, 便于略过二次计算, 快速评估单项采集异常后的差电流, 与现有方法分析问题的角度完全不同。

规律性结论在分析原理与讲解时也具有指导意义, 也为读者提供一个选择应用的机会。

推出了广义求差法, 通过此短文给读者一个尽量完整的论述, 希望和读者探讨并有意义。

如有不妥, 欢迎指正。

参考文献

- [1] 万利. 采集异常、广义求差法及其在母差保护中的应用[J]. 继电器, 2007, 35(8).
WAN Li. Acquisition Abnormality, Generalized Differentiation Method and Its Application in Busbar Differential Protection[J]. Relay, 2007, 35(8).
- [2] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
WANG Wei-jian. Application of Power Generator Transformer Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2007-09-21; 修回日期: 2007-10-25

作者简介:

万利(1949-), 男, 副教授, 研究方向: 继电保护、计算机仿真。E-mail: wanguan789@yahoo.com.cn