

基于故障分量的采样值电流差动保护研究 ——原理分析

袁荣湘^{1,2}, 陈德树², 马天皓¹, 张 哲², 尹项根²

(1. 中兴通讯公司监控产品部, 深圳 518004; 2. 华中理工大学电力系, 武汉 430074)

摘要: 对基于故障分量的采样值电流差动保护的原理进行了研究, 得出了其适宜采用的制动特性曲线, 分析了故障分量原理在采样值电流差动保护中应用时具有的特点, 讨论了电容电流对保护的影响, 对基于故障分量的采样值电流差动保护装置的研制具有重要意义。

关键词: 电流差动保护; 采样值; 故障分量

中图分类号: TM771

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)03-0009-03

1 引言

近年来, 继电保护工作者对基于故障分量的保护原理进行了深入研究并取得了显著成果, 在距离保护、方向保护等原理保护中得到成功应用。由于常规的相量电流差动保护还是采样值电流差动保护, 都无法解决差动保护在内部高阻接地故障时的灵敏度和负荷电流对差动保护的影响等问题, 而基于故障分量的保护在原理上与正常运行时的负荷无关, 与接地故障时的过渡电阻大小无直接关系, 具有相当的优越性。因此, 采用故障分量原理保护与采样值电流差动保护相结合, 形成基于故障分量的采样值电流差动保护, 以提高电流差动保护的性能, 是十分自然的设想。本文对基于故障分量的采样值电流差动保护的原理、特性的有关问题进行讨论。

2 采样值电流差动保护的制动特性曲线

对于常规电流差动保护多采用两折或三折的折线型制动特性, 它们的动作区与制动区界限分明。对于采样值电流差动保护, 由于其动作边界受采样时刻随机性的影响而存在一定的不确定区域, 动作区与制动区的边界也不象常规电流差动保护一样如此分明^[1]。然而, 继电保护的動作与不动作是不容模棱两可的, 幸好电流差动保护具有优异的选择性, 其动作区与制动区之间存在相当宽的不可能运行区域, 特别是故障分量原理的电流差动保护, 这从根本上保证了存在动作边界不定区域的采样值电流差动保护的可靠性、选择性。虽然采样值电流差动保护

动作边界的不确定性不致于严重影响其性能, 但对电流差动保护的测试、检验带来了困难, 因为检测实验常需在一定条件下较准确地给出其动作边界, 以便运行管理人员理解与整定, 如果仍使用常规电流差动保护的折线型制动特性曲线, 则难于用实验方法测量其理论上的明确动作边界。如图 1 所示, 图中横坐标为制动电流幅值, 纵坐标为差动电流幅值, 曲线 1 为保护流过不同外部短路电流时对应的不平衡电流曲线, 曲线 2 为考虑可靠性后整定的电流差动保护制动曲线, 在实际的保护装置中常用直线 1、2 和 3 所构成的三折线型制动特性曲线来近似, 折线的交点对应的制动电流分别是为 I_{s1} 、 I_{s2} , 最大制动电流为 $I_{s \max}$, I_{d0} 为差动保护最小动作电流, $I_{unb \max}$ 为最大外部短路不平衡电流, $kI_{unb \max}$ 为差动保护动作电流的整定值, 其中 k 为可靠系数, 设直线 2、3 的斜率分别为 k_1 、 k_2 , 则采样值电流差动保护的制动特性表达式如下:

$$i_d \geq i_{d0}, \text{ 当 } i_s \leq i_{s1} \quad (1)$$

$$i_d \geq i_{d0} + k_1(i_s - i_{s1}), \text{ 当 } i_{s1} \leq i_s \leq i_{s2} \quad (2)$$

$$i_d \geq i_{d0} + k_1(i_{s2} - i_{s1}) + k_2(i_s - i_{s2}), \text{ 当 } i_s \geq i_{s2} \quad (3)$$

从参考文献^[1]的分析可以知道, 采样值电流差动保护有两类判据, 其动作方程为:

$$|A \sin \theta| > |B \sin(\theta - \Delta \theta)| \quad (4)$$

$$|A \sin \theta| > C \quad (5)$$

对应着(4)式和(5)式表示的不等式, 不妨分别称为类、类判据。对于(4)式, 当 $\Delta \theta = 0$ 且动作量与制动量信号频率一致时, 此式的比较与采样时刻无关, 即与常规电流差动保护的判据方程完全一致, 不存在动作边界变化区的问题。对于(5)式, 由于 C 为常量, 则总是存在动作边界的变化区。对图 1 所

收稿日期: 1999-10-11

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(96048723)

作者简介: 袁荣湘(1965-), 男, 博士, 主要从事电力系统继电保护与自动化的研究。

示的制动特性曲线对应的方程中,(1)式为 I 类判据,(2)式、(3)式则为 II 类、III 类判据的组合形式,因此,无论何时上面各式均存在动作边界的变化区,这样就不能用实验的方法来确定采样值电流差动保护理论上的准确动作边界。为解决此问题,可以采用较为简单的制动特性曲线,如图 1 所示的直线 1 与直线 4 构成的折线,其动作方程为如下形式:

$$i_d \geq i_{d0}, \text{当 } i_s \leq i_{s0} \quad (6)$$

$$i_d \geq k_3 i_s, \text{当 } i_s \geq i_{s0} \quad (7)$$

式中 k_3 为直线 4 的斜率。对于(7)式,当使差动电流 i_d 和制动电流 i_s 相位一致时,则与常规电流差动保护相应的判据效果相同。对于(6)式,显然仍存在动作边界变化区的问题,但由于这一段主要是防止负荷状态下保证保护不误动,其灵敏度一般很高,裕度较大,对差动保护性能影响不大,对于基于故障分量的采样值电流差动保护在原理上消去了负荷的影响,故其灵敏度更高,裕度更大。为了保证保护的可靠性,应考虑到采样值电流差动保护受动作边界变化区的影响后,制动曲线中制动电流 i_{s0} 、 $i_{s \max}$ 对应的点位于图 1 中曲线 2 之上,采用的办法是提高比例系数 k_3 的值。

在采用较简单的制动特性曲线后,电流差动保护的制动区有一定程度的缩小,但缩小的区域一般是不可能运行的区域,故一般不存在保护动作特性不满足要求的问题。

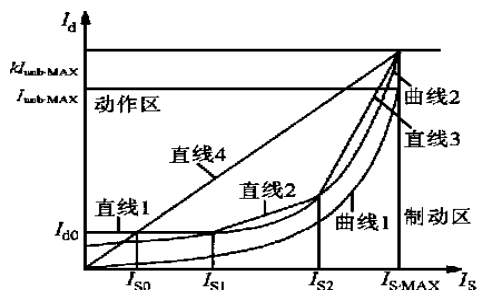


图 1 差动保护折线型制动特性曲线示意图

3 利用故障分量的采样值电流差动保护原理

采样值电流差动保护可以提高电流差动保护的制动速度,但是并没有改善保护的灵敏度,基于故障分量的电流差动保护能够提高保护的灵敏度,因此自然提出了基于故障分量的采样值电流差动保护原理,有理由期望它的性能优于常规的采样值电流差动保护。

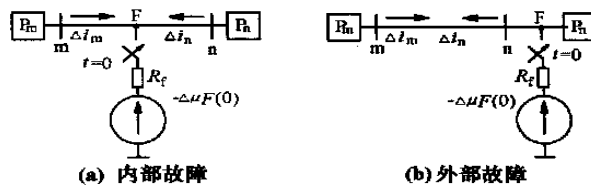


图 2 故障分量系统示意图

如图 2(a) 所示的内部故障时的故障分量系统示意图,假设正常运行时的负荷电流 i_p 从 M 侧流向 N 侧,此时两侧电流为:

$$i_m = i_p + \Delta i_m, i_n = \Delta i_n - i_p$$

在本文中各电流相量的表示均对应相应电流的瞬时值,如 i_p 表示负荷电流 i_p 对应的相量。不妨采用下面的常规电流差动保护的判据来讨论,即:

$$|i_m + i_n| \geq k |i_m - i_n|$$

对应的故障分量原理电流差动保护判据为:

$$|\Delta i_m + \Delta i_n| \geq k |\Delta i_m - \Delta i_n|$$

对于常规电流差动保护的制动量和制动量分别为:

$$\begin{aligned} |i_m + i_n| &= |\Delta i_m + i_p + \Delta i_n - i_p| \\ &= |\Delta i_m + \Delta i_n| \\ |i_m - i_n| &= |\Delta i_m + i_p - (\Delta i_n - i_p)| \\ &= |\Delta i_m - \Delta i_n + 2i_p| \end{aligned}$$

由此可见,常规电流差动保护的制动量与故障分量原理电流差动保护相同,制动量不同,前者比后者多了一项 $2i_p$,正是这个负荷电流项的存在,制约着常规电流差动保护制动系数 k_3 的提高,降低了电流差动保护的灵敏度,使得发生高阻接地短路等故障电流偏小的故障时保护拒动。

图 2(b) 所示为外部故障时的故障分量系统示意图。制动量中的负荷电流项是否就一定加大了外部故障时电流差动保护的制动作用、提高了保护的可靠性呢?其实也未必尽然。制动量是相量 $\Delta i_m - \Delta i_n$ 与相量 $2i_p$ 的叠加, $|\Delta i_m - \Delta i_n + 2i_p|$ 与 $|\Delta i_m - \Delta i_n|$ 谁大谁小,取决于 $\Delta i_m - \Delta i_n$ 与 $2i_p$ 的相位关系,由于故障发生时刻的随机性,它们的相位关系也是不确定的,因此,常规电流差动保护制动量中的负荷电流项并不一定是使制动作用增大而提高保护可靠性,某些时候可能起着完全相反的作用,这样势必降低保护的性能。

4 基于故障分量的采样值电流差动保护的制动特性

故障分量原理电流差动保护的比例系数选取与

常规电流差动保护有所不同。如图 3(a) 所示为内部故障时故障分量系统的等值电路图, 两侧系统等值阻抗为 Z_m 、 Z_n , 被保护线路阻抗为 Z_L , 故障点两侧的线路阻抗分别为 αZ_L 、 $(1-\alpha) Z_L$, 其中 $0 \leq \alpha \leq 1$, 故障点电流则有:

$$\left| \frac{\Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n}{\Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n} \right| = \left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_m + \alpha Z_L - Z_n - (1-\alpha) Z_L} \right|$$

$$= \left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_m + 2\alpha Z_L - Z_n - Z_L} \right| \geq 1$$

而在外部故障时有:

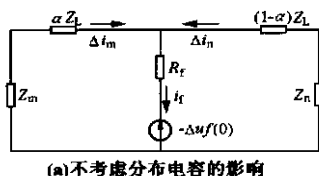
$$|\Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n| = 0$$

由此可见, 在内部故障时, 故障分量原理电流差动保护的差动量与制动量之比值由系统阻抗和故障点位置决定, 且不小于 1, 其变化范围是:

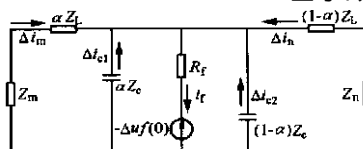
$$\left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_m - Z_n + Z_L} \right| \leq \left| \frac{\Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n}{\Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n} \right|$$

$$\leq \left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_M - Z_N - Z_L} \right|$$

对于常规电流差动保护, 由于制动量中负荷电流的存在而不具有上述特性, 对应于制动特性曲线图中, 表现为故障分量原理电流差动保护的不可运行区域比常规电流差动保护大, 这一点对于采样值电流差动保护来说十分重要, 因为采样值电流差动保护存在动作边界的不确定区域, 其制动特性常采用图 1 中直线 1 与直线 4 所构成的相对简单的制动特性曲线, 且为了保证保护的可靠性, 直线 4 的斜率不能太低。故障分量原理电流差动保护比例系数的取值较大、范围相对固定的特性充分保证了采样值电流差动保护的可靠性, 有效地克服了其不足之处, 因此, 采用故障分量的采样值电流差动保护充分发挥了各自的长处, 具有明显的优势。



(a) 不考虑分布电容的影响



(b) 考虑分布电容的影响

图 3 故障分量系统的等值电路

5 电容电流对基于故障分量的采样值电流差动保护的影响

当考虑被保护线路电容电流的影响时, 其内部故障等值电路图如图 3(b) 所示, 此时有:

$$i_m = i_p + \Delta i_m + i_c, \quad i_n = \Delta i_n - i_p$$

式中 i_c 为正常运行时流过被保护线路分布电容中的等值电流值, 则有:

$$|\dot{I}_m + \dot{I}_n| = |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_p + \dot{I}_c + \Delta \dot{I}_n - \dot{I}_p|$$

$$= |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_c + \Delta \dot{I}_n|$$

$$|\dot{I}_m - \dot{I}_n| = |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_p + \dot{I}_c - (\Delta \dot{I}_n - \dot{I}_p)|$$

$$= |\Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n + \dot{I}_c + 2\dot{I}_p|$$

对于如图 2(b) 所示的外部故障分量系统有:

$$i_m = i_p + \Delta i_m + i_c, \quad i_n = \Delta i_n - i_p + \Delta i_c$$

式中 Δi_c 为 N 侧系统外部故障时被保护线路等值电容电流故障分量, 它是有故障时的等值电压源 $-\Delta u_f(0)$ 产生的。此时有:

$$|\dot{I}_m + \dot{I}_n| = |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_p + \dot{I}_c + \Delta \dot{I}_n - \dot{I}_p + \Delta \dot{I}_c|$$

$$= |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_c + \Delta \dot{I}_n + \Delta \dot{I}_c|$$

$$|\dot{I}_m - \dot{I}_n| = |\Delta \dot{I}_m + \dot{I}_p + \dot{I}_c - (\Delta \dot{I}_n - \dot{I}_p + \Delta \dot{I}_c)|$$

$$= |\Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n + \dot{I}_c + 2\dot{I}_p - \Delta \dot{I}_c|$$

由此可见, 对于内部故障, 故障分量原理的电流差动保护在原理上消去了电容电流的影响(电容电流的影响有时对保护动作是有利的, 有时是作用相反, 这与电容电流 i_c 与故障分量电流 Δi_m 、 Δi_n 的相位有关); 对于外部故障, 由于存在电容电流的故障分量 Δi_c , 故障分量原理电流差动保护在抑制电容电流影响方面没有明显的优势。

6 结论

采样值电流差动保护能保证在大于 90° 的角度范围内满足动作判据, 那么其制动特性可以使用与常规电流差动保护相同的制动特性, 但由于动作边界变化区的存在, 宜使用图 1 中直线 1、4 构成的较简单的制动特性曲线。

基于故障分量的采样值电流差动保护在提高保护的灵敏度和在原理上充分保证采样值电流差动保护的可靠性两个方面具有明显的优势; 对于减少被保护线路电容电流的影响, 对于内部故障, 基于故障分量的采样值电流差动保护能有效减少其影响, 对于外部故障则没有明显的作用。

参考文献:

- [1] 袁荣湘, 等. 采样值电流差动保护原理的研究. 电力自动化设备, 2000, (1).
- [2] 陈德树, 等. 采样值电流差动微机保护的一些问题. 电力自动化设备, 1996, (4).

(下转第 14 页)

- 40 ~ + 85 。实际上,在涉及高速数据采集系统时,所要解决的问题是:信号的汲取,通道的灵活设置,系统的抗干扰性等。由于 ADS7825 在信噪比、信号(噪声 + 失真)比(即 $S/(N + D)$)、温漂等方面的优越性,使得传统意义上的大部分外围电路如信号跟随器、采保电路、外围调节电路等均可省略,实践证明这丝毫不影响数据采集系统的整体性能,且大大提高了数据采集系统的抗干扰能力,使得该系统软硬件设计的灵活性得以充分展现,如:可用软件设置不同通道(不同芯片)间数据转换的同步性、循环转换等。

5 软件实现

软件部分的实现,一方面是指在主 CPU 的控制下,参照现有微机保护程序流程完成数据采集的整个处理流程,并实现相应的保护功能;另一方面,分别按流水线、并行处理的特点,构成独立的闭环处理程序,以期实现对该数据采集系统的考核。实用中,数据采集子系统的软件处理流程可以灵活多样,但必须参考整个保护系统的实际要求,加以审慎考虑,对于数据采集及转换同时性、转换速度要求较高的保护原理,宜采用并行的处理方式;对于上述要求不十分严格的保护原理,可采用流水线或变形的并行处理方式;对于处理速度较低的主 CPU 系统,采用流水线的处理方式则不失为一种明智之举。

6 结束语

本文所述的数据采集子系统均已在软硬件上实现,其本身具有硬件设计简单、集成度好、可靠性高、软件处理灵活高效、满足现有系统要求、系统性能稳定、软硬件冗余性好等特点。当然,微机保护的发展可谓是日新月异,作为“沙里淘金”过程的电力系统数据采集及信号实时处理系统的含金量也会有所增加,其必将推动微机保护中就地配置、开放型、多功能、分层分布的网络化体系、平台化的设计和应用趋势的发展,为整个电力系统的进步注入新的生机和活力。

参考文献:

- [1] 杨奇逊. 微机继电保护基础. 水利电力出版社, 1988.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第二版). 中国电力出版社, 1995.
- [3] 张振华等. 第三代微机保护的设计思想. 电力自动化设备, 1997(8).
- [4] Bertil Lundqvist, ABB Relays Sweden. A NEW GENERATION OF PROTECTION AND LOCAL CONTROL. IEE DP-SP 'S 94 6th International Conference Publication on Development in Power System Protection, Beijing, P. R. China, IEE Conference 5/1994.
- [5] 沈兰荪. 高速数据采集系统的原理与应用. 人民邮电出版社, 1995.

Analyse and investigation of a applied microprocessor - based protection 's data acquisition system

YOU Xin, ZHANG Zhen-hua, LIU Wan-shun, YANG Qi-xun

(North China Electric Power University, Beijing 10085)

Abstract: Combining with modern microprocessor, data acquisition technology, and the other technologies, this paper evaluates the features and trends of hardware concept of internal and external traditional relays' data acquisition system comprehensively. Practically, according to the principle of new decentralized numerical protection, this paper presents and tests a new type of data acquisition system, which can satisfy the existing condition and make out a new way to reform the platform of existing protection.

Key words: microprocessor - based protection; hardware concept; data acquisition system

(上接第 11 页)

Study on the current differential protection based on sampled values using fault component ——principle analysis

YUAN Rong-xiang¹, CHEN De-shu², MA Tian-hao¹, ZHANG Zhe², YIN Xiang-gen²

(1. Zhongxing Telecom Ltd., 518004 Shenzhen, China; 2. Huazhong University of Science and Technology, 430074 Wuhan)

Abstract: In this paper, the principle of the current differential protection based on sampled values using fault component is investigated. The proper resistance characteristic figure is described. The performance of the current differential protection using fault component is analyzed. The influence of the capacitive current is discussed.

Key words: current differential protection; sampled value; fault component