

采集异常、广义求差法及其在母差保护中的应用

万 利

(吉林省电力有限公司培训中心, 吉林 长春 130022)

摘要: 该文称在母差保护的動作特性分析中, 相对传统分析方法而言, 保护装置采集一次电流的范围和过程中出现的异常为“采集异常”。由于在传统分析方法中没有找到对其定量的分析方法, 因而提出了广义求差法并进行论证。该方法可以一次同时求取复杂情况下多个未知量, 并包含一二次全部信息, 是对传统分析方法的扩展。基于该方法, 以 66 kV 双母线固定联结方式的母线为例分析了出现单一不对应支线并保护区短路时母差保护的動作特性。得到无选择性同时跳开两组母线、保护拒动并由后备保护越级跳闸、有选择性跳闸三个结论, 也演示了该方法的计算过程。基于该方法, 对 CT 反接、电流变比异常进行了分析。

关键词: 采集异常; 广义求差法; 欠采集支线特性; 不对应支线; CT 异常

Acquisition abnormality, generalized differentiation method and its application in busbar differential protection

WAN Li

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

Abstract: In the acting characteristic analysis of the busbar differential protection, this paper, compared with the traditional analytical method, defines the “Acquisition Abnormity” as the abnormality within the range and during the process that the protection equipment gathers the current once. This paper provides a generalized differentiation method to solve this problem and proves its effectiveness in detail since there is no traditional corresponding quantitative analytical method. This method can acquire multiple unknowns at one time under complicated situations, which will include the full information of primary and secondary equations as an extension of the traditional analytical method. Based on this method, this paper uses 66kV dual busbar with fixed connection as an example to analyze busbar protective performance when single asymmetrical lateral and internal short circuit in the protective section happen. Three conclusions have been drawn, which are disconnection of dual busbar simultaneously without selection, failure to operation of protection and backup protection with skip tripping, and selective tripping. The computation process has been demonstrated. Based on this method, analysis has been performed to CT inverse connection and abnormal current ratio.

Key words: acquisition abnormality; generalized differentiation method; lateral performance with lack of acquisition; asymmetrical lateral; CT abnormality

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)08-0012-04

0 引言

在母差保护的動作特性分析中, 相对传统分析方法而言, 保护采集一次电流的范围和过程中因各种原因会出现异常, 本文称为采集异常。采集范围异常: 包括保护超范围或欠范围采集一次电流, 如对安装和运行操作中出现的不对应支线电流的采集。采集过程异常: 包括一、二次电流转换、二次联接出现异常。如出现 CT (电流互感器) 反接、(相对标准变比的) 变比不对、断线、错接等情况。还包括二者都有的情况。

然而, 在传统分析方法中没有找到对它定量且直接的分析方法, 呈现“空白”。

如果能用定量分析方法对采集异常进行分析, 就可以避免、特别是分析复杂问题时避免采用画电流走向图分析的方法, 也符合“数字化”发展方向。

当然, 出现采集异常, 并不只限于传统型差动保护。基于这一思路, 本文提出了广义求差法, 提出一些配合分析的方法或概念。

基于广义求差法, 分析了双母线固定联结方式差动保护在出现单一不对应支线并保护区短路时的動作特性。根据东北地区 66 kV 电压等级双母线双电源居多的情况, 得出了主要分析结论, 同时演示了该方法的计算过程。基于广义求差法, 对 CT 反接、变比不对进行了分析。

1 广义求差法的推导、计算及优势

1.1 基础知识

以下基础知识在本文计算中会看到运用,可以进一步理解。

1) 短路支线: 本方法规定保护范围内短路时, 相当于在短路点增加了支线, 称为短路支线, 属非正常支线。有了该概念, 不论结点是否短路, 结点电流方程恒等于零。

2) 欠采集: 指保护少采集了已联接在被保护结点的支线电流。该支线对该保护称为欠采集支线; 如该支线为电源, 称为欠采集电源支线; 该被保护结点称为欠采集结点。

3) 欠采集电源支线电流特性: (1) 当欠采集支线是电源支线且欠采集结点短路时, 虽然其电流参加短路结点的电流计算, 并向短路点提供短路电流, 但该结点的保护测量结果一定不包含欠采集电源支线电流。由于该电流来去不受检测, 现行任何原理的差动保护都不能正确反应。(2) 欠采集电源支线电流可能影响短路点的过渡阻抗, 使短路结点电位 e 改变, 进而使其它支线电流变化。(3) 该特性可作为配合分析的方法, 直接应用。

4) 过采集: 指保护多采集了没有联接在被保护结点的支线电流。该支线对该保护称为过采集支线; 该被保护结点称为过采集结点。

5) 电流正方向⁽²⁾的规定: 本文在所有叙述和计算中, 规定内部短路的短路支线电流 I_k 离开所讨论的结点为正。过采集侧保护采集过采集支线电流时, 一次电流应假设指向过采集结点为正进行采集(见计算举例)。除此之外, 规定其它所有支线、包括母联断路器 (bus coupler circuit-breaker, 文中计算暂用 BCCB 表示) 的一次电流指向所讨论的结点方向为正。

6) 短路电流及其分解: 认为总短路电流 I_k 由各电源支线提供。内部短路时, 采用逆向思维方法, 先推出 I_k 参与计算, 再根据需要将 I_k 分解后, 合并同类项, 求测量值。在有采集异常时, 这是不画电流线走向分析动作特性的重要方法。

1.2 广义求差法的推导及定义

为严谨, 只能以公认、可见的传统方法为切入点进行推导, 这是本文的前提。

输入保护的采集电流变量和受结点电流方程约束, 为此要建立它们的联系。

在一次电流中, 很容易区分出哪些是保护采集的变量。将一次电流同时表达成采集变量与结点电流变量, 并将采集异常表达达到采集变量中。先在这

个层面进行推导计算和分析(包括差电流 I_{kb})。这是计算过程需要合并同类项变量的特殊要求。得出结果后如需要, 再按工程实际的标准变比折算到二次即得到二次值。

令 A (acquisition、采集) 为保护采集电流变量和, 有 m 个变量:

$$A = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_m \quad (1)$$

传统方法中, 保护的采集电流变量和为保护的差电流 I_{kb} ^(1,3~11), 即: $I_{kb} = A$ (2)

令 N (node、结点) 为结点电流变量和, 有 n 个变量:

$$N = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (3)$$

不论有无短路, 基于 KCL 电流定律式(3)恒有 $N = 0$, 因推导需要写成: $0 = N$ (4)

(2)、(4)两等式两边对应相减, 有: $I_{kb} - 0 = A - N$

视 0 依然存在但不写, 将 A 、 N 表达量带入该等式展开, 可以写成:

$$I_{kb} = A - N = [I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_m] - (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) \quad (5)$$

显然, 式(5)是输入保护的差电流的另一种表达方式。为有所区别, 称 $I_{kb} = A - N$ 式为广义求差法计算公式。

定义: 用保护采集电流变量和与结点电流变量和之差分析差动保护动作特性的方法称为广义求差法。

对 I_{kb} 进行计算, 将相同变量减掉或合并, 不相同变量保留, 得出计算结果。

1.3 从计算结果分析保护动作特性

有采集异常时, 内部短路的计算结果不是唯一变量, 会出现保护测量值 I_{kb} 偏离总短路电流 I_k 的情况, 而这种偏离完全不是一次电流真实情况。要逐一分析或计算各变量对测量值的影响, 才能最终得到保护动作特性。以 I_k 为参照量, 在计算结果中:

1) 如果有为正值电源支线的电流变量, 则增加对 I_k 的测量值, 增加保护的灵敏度。

2) 如果有为负值的电源支线的电流变量, 则减小对 I_k 的测量值, 甚至使测量值为零或为负。遇到这种情况, 应对 I_k 分解后再合并同类项, 就能得出准确的测量结论(见本文计算演示)。计算结果中的正、负符号, 也是分析的判据之一。

3) 负荷支线的电流变量对 I_k 的测量值影响一般较小, 但也要具体分析。

为了便于得出区内短路保护动作特性, 应尽量用 I_k 或其分解量表达计算结果中提供短路电流的支线变量。

1.4 优势与比较

传统分析方法所依据的理论基础是: 当正常运

行和外部短路时,恒有诸出线电流之和 $\Sigma I=0$,而在母线本身短路时, ΣI =总短路电流 I_d 。

显然,传统方法是建立在无采集异常基础上的条件结论。用它分析采集异常,一定有局限。例如双母线出现不对应支线时,不能保证被保护母线和“诸出线”的对应关系,正常运行、外部或内部短路时传统结论当然不再成立,也不能直接得出结论(或许能够想象或分析出结论,仍不如定量计算可靠、直接、准确),经常用画电流线走向定性进行分析。而定量分析优于定性分析。

广义求差法显然包含了传统分析方法。通过 N 的引入,扩展了思路,不论是否出现采集异常,都可以进行全面分析,传统方法难以一步到位的局限被突破。通过查新,未见报道。

2 保护采集范围异常举例(不对应支线)

如图1,某66kV双母线以固定连接方式运行,共有6条支路,支线3、4是电源,其余是负荷。支线连接和保护设置详见图。设支线3从I母切换到II母成为不对应支线,固定连接方式被破坏,造成I母侧保护过采集、II母侧保护欠采集。即KD1、KD2出现采集范围异常。

篇幅所限,重点分析内部短路的典型情况,并加以说明。

以下2.1、2.2的计算忽略负荷支线电流的影响。

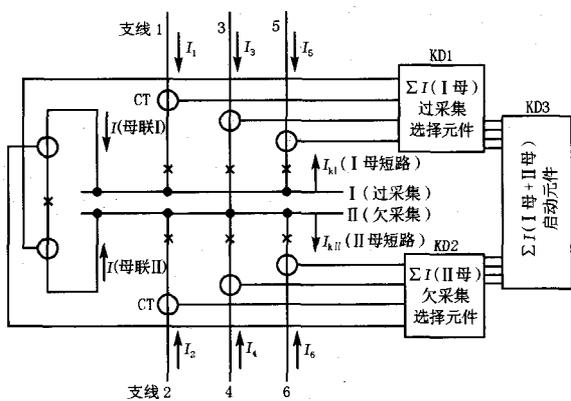


图1 支线3为不对应支线的示意图

Fig.1 Schematic drawing of that lateral 3 is the asymmetrical lateral

2.1 内部短路, 不对应支线3是唯一的电源

(以II母短路为例,且支线4电源因各种原因消失)

II母短路($I_3=I_{KII}$)

非故障侧(I母、过采集侧):

$$A=[I_{(BCCB I)}+I_1+I_3+I_5]; N=(I_{(BCCB I)}+I_1+I_5)$$

$$I_{KD1}=A-N=[I_{(BCCB I)}+I_1+I_3+I_5]- (I_{(BCCB I)}+I_1+I_5)=I_3=I_{KII} \quad (6)$$

故障侧(II母、欠采集侧):

观察 I_3 ,对II母是欠采集电源支线电流,并提供全部短路电流,即 $I_3=I_{KII}$,可以不进行计算,直接应用该支线电流特性得出测量结论等于零,并证明如下:

$$A=[I_{(BCCB II)}+I_2+I_4+I_6];$$

$$N=(I_{(BCCB II)}+I_2+I_3+I_4+I_6-I_{KII})$$

$$I_{KD2}=A-N=[I_{(BCCB II)}+I_2+I_4+I_6]- (I_{(BCCB II)}+I_2+I_3+I_4+I_6-I_{KII})=-I_3+I_{KII}=-I_{KII}+I_{KII}=0 \quad (7)$$

对启动元件KD3:

$$I_{KD3}=I_{KD1}+I_{KD2}=I_{KII}+0=I_{KII} \quad (8)$$

保护动作情况:KD2不会动作,短路点没有被切除。而KD1、KD3因差动电流均为 I_{KII} 而动作。即有:不对应支线是唯一电源且欠采集侧短路时,过采集侧保护误动、欠采集侧保护不动并且只能由上一级保护越级跳闸,可能危及电源安全。

可以计算得到:过采集侧短路时,同时跳开两组母线。

2.2 内部短路, 不对应支线3不是唯一电源

以II母短路为例。分解 I_{KII} : $I_{KII}=I_{KII}' + I_{KII}''$,令 $I_3=I_{KII}'$,其它电源提供短路电流为 I_{KII}'' 。

1) II母短路 I_{KD1} (过采集侧)的计算结果:

$$I_3=I_{KII}'$$

2) II母短路 I_{KD2} (欠采集侧)的计算分析:

如前述,对II母, I_3 是欠采集电源支线提供的短路电流,又 $I_3=I_{KII}'$,可以直接应用欠采集电源支线电流特性得出结论中不包括 I_3 提供的 I_{KII}' 。证明如下:

$$I_{KD2}=A-N=[I_{(BCCB II)}+I_2+I_4+I_6]- (I_{(BCCB II)}+I_2+I_3+I_4+I_6-I_{KII})=-I_3+I_{KII}=-I_{KII}' + (I_{KII}' + I_{KII}'')=I_{KII}'' \quad (9)$$

可以计算得到:不对应支线不是唯一电源时,内部短路将同时跳开两组母线。

相同的结论,通过列举此例计算得出,免去画电流走向图。

2.3 内部短路, 不对应支线3是负荷

多数情况,短路时不对应支线3提供的附加短路电流有限,近似为零,即以 $I_3=0$ 代入计算结果可证明(略)。不因不对应支线3影响保护有选择性动作。

以图1为例,统计负荷支线成为不对应支线的概率,设两路电源支线是对应支线,其余4路是负荷支线且都可能分别成为不对应支线时,内部短路,

有 2/3 的概率有选择性动作。

顺便说明, 支线 3 对 KD3 不构成不对应支线, 外部短路时, 不论 KD1、KD2 是否误动, KD3 不会启动, 维持启动元件的选择性。

3 保护采集过程异常举例 (CT 异常)

所举的例子是典型的采集过程异常的例子。由于图形简单, 没有画出。

设单母线有 5 条支线, 按规定正方向联接, 支线 3 出现 CT 反接(取负)、支线 5 出现 CT 变比选小, 取标准变比的 1/3。在内部无短路和内部短路时分析 I_{KD} 的计算结果。

$$\text{内部无短路: } I_{KD}=A-N=[I_1+I_2-I_3+I_4+3I_5]- \\ (I_1+I_2+I_3+I_4+I_5)=-2I_3+2I_5$$

这个结果和“直读值 ($-I_3$ 、 $3I_5$)”的结果显然不同, 体现了 N 对 A 的约束。以 I_3 为例, 可用三个定性假设证实结果的正确性, 即 CT 正常连接、断线、反接, 结果分别为 0、 $-I_3$ 、 $-2I_3$ 。以 I_5 为例, 也可用三个定性假设证实结果的正确性, 即 CT 为标准变比、1/2 标准变比、1/3 标准变比, 其结果分别为 0、 I_5 、 $2I_5$ 。(如果 I_5 不取标准变比的 1/3, 例如 1/0.9, 结果还会包括小数。)

显然, 正常运行和外部短路时保护不误动的条件为: $I_3=I_5$, 或 $-2I_3+2I_5$ 小于保护动作值。否则保护误动。

$$\text{内部短路: } I_{KD}=A-N=[I_1+I_2-I_3+I_4+3I_5]- \\ (I_1+I_2+I_3+I_4+I_5-I_K)=-2I_3+2I_5+I_K$$

设只有 I_3 、 I_5 是电源, 分别提供 I_K' 、 I_K'' , 则最终测量结果又回到“直读”结果, 即 $I_{KD}=-I_K'+3I_K''$, 摆脱了 N 对 A 的约束。如果恰巧 $I_K'=3I_K''$ ($I_3=3I_5$), 则 I_{KD} 的测量值为 0, 保护拒绝动作。

如果 I_3 是负荷, 保护一定动作。因此保护能否动作取决于结果中支线变量的性质以及将 I_K 分解后的计算结果。电源情况不同, 结论也会有极大差异。恕不展开。

这个例子, 用传统方法或画电流走向图难以一步到位, 体现了它们的局限。

重要的是: 一次求出影响动作特性的全部因素, 并且都是正确的。

4 结语

1) 定量分析结果证明: 当 66 kV 母线固定连接方式因出现单一不对应支线被破坏且内部短路时, 保护的動作特性与不对应支线性质(是否电源、是否唯一)和短路地点有关。有三个结论: 不对应

支线不是唯一电源时内部短路、或是唯一电源过采集侧短路时, 保护会无选择性跳开两组母线; 不对应支线是唯一电源且欠采集侧短路时, 保护会拒绝跳闸并由后备保护越级跳闸; 不对应支线的负荷时一般不影响保护有选择性跳闸。

更主要的, 是通过本方法的应用展示, 使读者遇到类似问题时, 有所参照。

2) 从结点电流与采集电流相对独立又存在约束的角度, 提出广义求差法。求保护采集电流变量和与结点电流变量和之差, 是该方法的核心。提出了短路支线、欠采集电源支线电流特性、过采集、短路电流及其分解等配套分析的方法或概念, 完整、全面并非常重要, 是衡量“方法”可用的必要条件, 同样未见报道。

对上述必要条件, 传统方法不具备或没有指出, 遇到问题用定性方法“绕着走”。

可以认为, 广义求差法的推导和应用建立在三个所谓“反常思维”基础上, 即短路电流分解、一次电流两类表达并计算、 $0=\Sigma I$ 。缺一不可。

广义求差法是全面的定量分析方法, 也是对传统方法的重新评价。分析复杂问题可以节省精力和时间、可以不画电流线走向, 简便、快捷、符合发展方向。对工程技术人员分析采集异常也具有实际意义。

3) 差动保护依附 KCL 电流定律是正确的理论, 从上世纪 30 年代开始, 应用了几十年。只是传统方法适用的范围较窄, 导致定量分析采集异常不便, 这是本文的观点和主线。

文章撰写过程, 承蒙东北电力大学王静茹教授协助, 特此致谢!

参考文献

- [1] Г. И. 阿塔别柯夫. 高压电力网继电保护原理[M]. 北京: 中国工业出版社, 1964.
А т а б е к о в Г И. Theory of High Voltage Electric Power Net Relay Protection[M]. Beijing: China Industry Press, 1964.
- [2] 邱关源. 电路[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.
QIU Guan-yuan. Electronic Circuit[M]. Beijing: People's Education Press, 1978.
- [3] 山东工学院. 电力系统继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1977.
Shandong Engineering College. Electrical Power System Relay Protective[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1977.
- [4] 陶然, 熊为群. 继电保护自动装置及二次回路[M]. 北京: 水利电力出版社, 1981.

(下转第 26 页 continued on page 26)

- 路故障计算[J]. 电力系统自动化, 2001,25(24): 22-24.
CHE Ren-fei, LI Ren-jun, LI Yu-zhong. Short Circuit Calculation of Distribution Network Based on Superposition Theorem[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001,25(24): 22-24.
- [6] 张红. 一种辐射型配电网短路电流实用算法[J]. 电网技术, 2001, 25(12): 38-41.
ZHANG Hong. A Practical Algorithm of Short Current Calculation for Radial Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2001, 25(12): 38-41
- [7] 曹国臣, 张弓, 宋家骅, 等. 配电网故障计算的通用方法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 41-48.
CAO Guo-chen, ZHANG Gong, SONG Jia-hua, et al. Canonical Method for Calculating Fault in Distribution Network[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(7): 41-48.
- [8] 王艳松, 王平. 配电网短路故障的新算法[J]. 电网技术, 1999, 23(6): 8-14.
WANG Yan-song, WANG Ping. New Algorithm for Calculating Distribution System Short-circuit Fault[J]. Power System Technology, 1999, 23(6): 8-14.
- [9] 郑太一, 王建勋. 220 kV 两相供电线路短路电流与继电保护定值计算[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 97-99.
ZHENG Tai-yi, WANG Jian-xun. Short Current and Relay Protection Setting Calculation for 220 kV Two-phase Power Supply Circuit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(5): 97-99.
- [10] 钱海. 哈大电铁 220 kV 线路继电保护运行相关问题探讨[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(12): 68-71.
QIAN Hai. Discussion of 220 kV Line-protection Operation in Ha-Da Electrified Railway Road[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(12): 68-71.
- [11] 李保福, 邱金辉, 张丽英. 电铁工程两相式供电系统继电保护动态试验模型的研究[J]. 东北电力技术, 2001,(4): 20-23.
LI Bao-fu, QIU Jin-hui, ZHANG Li-ying. Research on Realy - Protection Dynamic - test model for 220kV Two-phase Power Supply System of Electrified Railway Road[J]. Northeast Electric Power Technology, 2001,(4): 20-23.
- [12] 安德逊 P.M. 电力系统故障分析[M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.
Anderson P.M. Power System Fault Analysis[M]. Beijing: China Electric Power Industry Press, 1980.
- 收稿日期: 2006-11-07; 修回日期: 2006-12-21
- 作者简介:
刘 焱 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统故障计算整定计算理论及相关软件技术; e-mail: liumiao_007@163.com
石东源 (1974-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统二次系统自动化、电力系统软件技术等;
杨雄平 (1978-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术。
-
- (上接第 15 页 continued from page 15)
- TAO Ran, XIONG Wei-qun. Relay Protection, Automatic Device and Second Order Loop[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1981.
- [5] 华中工学院. 电力系统继电保护原理与运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1981.
Huazhong Engineering College. Theory and Function of Electrical Power System Protective Relay[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1981.
- [6] 国家电力调度通讯中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
National Electric Power Regulation and Communication Center, Questions and Answers of Applicable Technology on Electric Power System Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [7] 南京电力学校. 电力系统继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
Nanjing Electric Power School. Electrical Power System Protective Relay[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1984.
- [8] 重庆电力学校. 电力系统继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
Chongqing Electric Power School. Electrical Power System Protective Relay[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1992.
- [9] 天津大学. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.
Tianjing University. Theory of Electrical Power System Relay Protective[M]. Beijing: China Electric Power Industry Press, 1980.
- [10] 王广延. 电力系统元件保护原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
WANG Guang-yan. Theory of Power Electric System Component Protection[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [11] 许建安. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2004.
XU Jian-an. Electrical Power System Relay Protective[M]. Beijing: China Water Power Press, 2004.
- 收稿日期: 2006-12-07; 修回日期: 2007-03-19
- 作者简介:
万 利 (1949-), 男, 副教授, 研究方向为继电保护、计算机仿真. E-mail: wanguan789@yahoo.com.cn