

母线保护电流互感器断线判据的分析及改进判据

唐治国, 陈琦, 周小波, 王永旭, 陈宏岩

(南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 母线差动保护一般都配置电流互感器断线判断功能, 以提高差动保护的可靠性。按照现有规范, 当母线支路发生电流互感器二次断线时, 需闭锁差动保护; 当母联间隔电流互感器发生断线时, 不闭锁差动保护。因此电流互感器断线判据的选择将影响母线差动保护的正确动作。从大负荷电流互感器断线、不完全电流互感器断线、高阻接地故障、单电源系统等多个角度分析现有母线电流互感器断线的判据存在的问题, 并在此基础上提出了新的母线电流互感器断线判据: 对于接入电压的母线保护, 采用灵敏的电压判据作为辅助判据, 对于无电压引入的母线保护, 采用支路零序电流与差流的比值及差值作为辅助判据。试验结果表明, 所提判据能够准确有效地识别电流互感器断线与故障, 当发生电流互感器断线时, 可靠闭锁差动保护, 而当母线发生故障时, 不会影响差动保护的快速性。

关键词: 继电保护; 母线差动保护; 电流互感器; 电流互感器断线; 灵敏电压; 零序电流

中图分类号: TM 772

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.04.031

0 引言

母线差动保护由于其较高的可靠性和快速性, 在母线保护中作为主保护广泛使用。差动保护的准确性依赖于母线连接单元的电流互感器对一次电流的正确传变, 如果不能正确传变将有可能引起母线差动保护的不正确动作。相关标准对保护用互感器提出了要求^[1], 对互感器的选型原则给出了相应规范^[2], 这些规范从源头提高了差动保护的可靠性。电流互感器经过高压电流互感器二次侧端子、室外端子箱、端子箱到保护室电缆, 再到保护装置的接线端子, 最后经过保护装置的互感器及采集回路进入保护装置, 整个回路较为复杂, 其中任何一个环节出现异常, 都可视为电流互感器二次断线^[3]。尽管电流互感器断线的可能性比较小, 但为了提高差动保护的可靠性, 母线保护一般都配置电流互感器断线判断功能。根据相关规范, 母线支路发生电流互感器断线时, 闭锁差动保护; 母联间隔电流互感器断线后发生故障, 先跳母联, 延时跳故障母线。近年来, 相关检测及规范对母线电流互感器断线的判断提出了较高的要求, 有必要通过分析现有判据的不足, 提出新判据以提高母线保护的可靠性。

1 常见的电流互感器断线判据及存在的问题

1.1 常见的电流互感器断线判据

母线保护都配置电流互感器断线告警及电流互感器断线闭锁功能。电流互感器断线告警功能相对较为简单, 常用的方法为同时计算母线大差差流及小差差流, 当差流大于电流互感器断线告警定值后, 延时发告警信号。对于含母联(分段)的母线接线方式的母线保护, 母联电流互感器断线常用的判据

为计算母联(分段)的零序电流, 同时比较母联三相电流幅值间的差异(如两相有电流, 另一相无电流或者电流较小)及大、小差流(如大差流平衡, 两小差流均不平衡), 如果满足上述条件后发告警信号, 但不闭锁差动保护, 发生母线区内故障后, 采用先跳母联(分段)的方法将故障隔离, 经延时(220 kV 电压等级采用固定延时 100 ms, 110 kV 及以下电压等级采用固定延时 150 ms)后, 母线保护可正确选择故障母线^[4]。相比电流互感器断线告警功能, 由于支路电流互感器断线闭锁功能会闭锁母线差动保护, 其判据的快速性及准确性对母线差动保护影响较大。母线保护需要考虑大负荷电流互感器断线时, 差动保护不能误动; 发生不完全电流互感器断线时需能进行准确判断; 不能将高阻接地故障误判为电流互感器断线; 特别地, 母线保护应能区分单电源情况下的故障和电流互感器断线。

为了解决上述问题, 国内相关专家学者及母线设备制造厂商进行了大量的研究, 常见的判据有以下3种^{①-③}。

a. 通过计算母线大差差流, 当任一相差流满足电流互感器断线闭锁定值时, 延时发电流互感器断线闭锁信号, 闭锁差动保护。当差流消失后, 电流互感器断线自动返回。

b. 如果大差差流大于电流互感器断线闭锁定值, 延时发电流互感器断线闭锁信号, 当母线电压异常(母差电压闭锁开放)时, 不进行电流互感器断线的检测。

① 深圳南瑞科技股份有限公司. BP-2C 微机母线保护装置说明书. 2008.

② 南京南瑞继保电气有限公司. PCS-915 微机母线保护装置说明书. 2011.

③ 国电南京自动化股份有限公司. SGB-750 数字式母线保护装置说明书. 2013.

c. 当大差单相有差流时,如果仅有1路有零序电流,且该支路与差流同相的相电流为0或电流较小,另外两相的相电流接近,则判断该相的电流互感器断线。在故障发生情况下(母线电压闭锁开放或者制动电流上升),不进行电流互感器断线的检测。

对于3/2接线,为防止大负荷电流互感器断线引起差动保护误动,文献[5]提出了基于制动电流下降的快速电流互感器断线判据,文献[6]提出了基于支路电流变化量的快速电流互感器断线判据,它们的核心思路是电流互感器断线时,制动电流下降,同时也考虑支路零序电流,能较好地解决大负荷电流互感器断线对母线差动保护的影响。

1.2 电流互感器断线判据存在的不足

通过对上述判据的分析研究可以看到,如果仅计算母线的大差差流,结合采用延时的方法,当发生高阻接地故障转金属性故障(高阻接地故障,差流满足电流互感器断线闭锁定值,不满足差动保护电流定值;金属性故障,差流同时满足电流互感器断线闭锁及差动保护电流定值)时,只要转换时间超过电流互感器断线延时定值,将不可避免地判断为电流互感器断线。采用母线电压闭锁和制动电流变化量判据能够降低误判的概率,但随着过渡电阻的增大,上述判据误判的可能性将大幅增加(如电压变化不明显、制动电流变化不明显等)。对于有电压闭锁的双母线,当发生大负荷电流互感器断线时,差动保护会动作,但此时由于电压正常,保护不会误动出口。需要重点考虑的是双母双分段接线的2个分段跳闸问题(分段跳闸不经电压闭锁)和电压互感器异常问题(如电压互感器断线、电压互感器检修、1段母线检修)。对于无电压闭锁的3/2接线母线保护,如果仅采用上述单一判据,虽然能够解决大负荷电流互感器断线问题,但当制动电流下降不满足判据条件后再出现电流互感器断线(如不完全电流互感器断线,电流互感器断线过程中制动电流有可能上升和下降交叉出现)时,单一判据将失效^[7]。对于采用支路零序电流的电流互感器断线判据,在单电源的情况下,零序电流的门槛选择将影响电流互感器断线和故障的判断^[8],如发生母线区内故障时,可能出现只有1路有零序电流(满足内部门槛值)而其余支路零序电流较小的情况,此时有可能会误判为电流互感器断线。

2 电流互感器断线改进判据

在某些情况下由于无法判断电流互感器断线,不要求差动保护闭锁,如:三相电流对称情况下电流互感器回路中性线断线时,电流互感器断线与正常运行时的二次电流的表现一致;小负荷电流互感器断线时不满足电流互感器断线定值,电流互感器断

线存在判断死区。在上述情况下,相关规范对电流互感器断线的处理总体原则进行了如下要求:

- a. 主保护不考虑电流互感器断线、电压互感器断线同时发生的情况;
- b. 不考虑无流元件的电流互感器断线;
- c. 不考虑三相电流对称情况下的中心性断线;
- d. 不考虑电流互感器两相、三相断线;
- e. 不考虑多个元件同时发生电流互感器断线;
- f. 不考虑电流互感器断线和一次故障同时发生的情况。

基于以上总体原则,本文提出了电流互感器断线改进判据,根据电压互感器是否接入母线保护分别进行处理,使母线保护的支路电流互感器断线判据更加合理。

2.1 电压互感器接入母线保护

电压互感器接入母线保护一般采用双母线、双母单分段、双母双分段、单母分段、单母线等接线方式。采用典型的双母双分段接线方式时,各母线电压互感器、各间隔电流互感器的接线如图1所示。

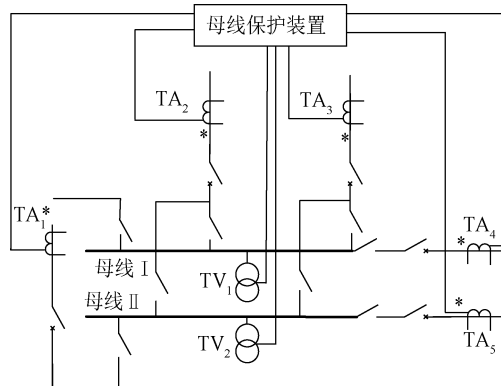


图1 采用双母双分段接线形式时，
电流互感器、电压互感器接线图

Fig.1 Wiring diagram of CT and PT
in dual-bus dual-subsection wiring mode

电流互感器断线与母线故障最明显的区别在于母线电压的变化。发生电流互感器断线时,母线电压无变化,而发生母线故障时,母线电压视故障类型有不同程度的变化:发生金属性接地故障时,母线电压变化较大,发生高阻接地故障时母线电压变化不明显。

以图2所示的双侧电源系统分析发生单相故障后母线电压变化情况。

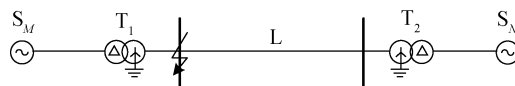


图2 双侧电源系统图

Fig.2 Schematic diagram of system with power
source at both ends

图2中, S_M 和 S_N 为无穷大系统且不考虑2个系统间的相角差,系统额定电压 $U_N = 500 \text{ kV}$;变压器

T_1 的正、负、零序阻抗分别为 Z_{T11} 、 Z_{T12} 、 Z_{T10} ; 变压器 T_2 的正、负、零序阻抗分别为 Z_{T21} 、 Z_{T22} 、 Z_{T20} ; 线路 L 的正、负、零序阻抗分别为 Z_{L1} 、 Z_{L2} 、 Z_{L0} 。

M 侧母线发生单相接地故障, 接地电阻为 R , 此时从故障点观察的序分量网络的正序阻抗 Z_{D1} 、负序阻抗 Z_{D2} 和零序阻抗 Z_{D0} 分别如式 (1)、(2)、(3) 所示。

$$Z_{D1} = \frac{Z_{T11}(Z_{L1} + Z_{T21})}{Z_{T11} + Z_{T21} + Z_{L1}} \quad (1)$$

$$Z_{D2} = \frac{Z_{T12}(Z_{L2} + Z_{T22})}{Z_{T12} + Z_{T22} + Z_{L2}} \quad (2)$$

$$Z_{D0} = \frac{Z_{T10}(Z_{L0} + Z_{T20})}{Z_{T10} + Z_{T20} + Z_{L0}} \quad (3)$$

则故障电流的正、负、零序分量如式 (4) 所示。

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{U_N}{Z_{D1} + Z_{D2} + Z_{D0} + 3R} \quad (4)$$

M 侧故障相母线电压的正、负、零序分量分别如式 (5)、(6)、(7) 所示。

$$U_1 = I_1(Z_{D2} + Z_{D0} + 3R) = \frac{U_N(Z_{D2} + Z_{D0} + 3R)}{Z_{D1} + Z_{D2} + Z_{D0} + 3R} \quad (5)$$

$$U_2 = -I_2 Z_{D2} = \frac{U_N Z_{D2}}{Z_{D1} + Z_{D2} + Z_{D0} + 3R} \quad (6)$$

$$U_0 = -I_0 Z_{D0} = \frac{U_N Z_{D0}}{Z_{D1} + Z_{D2} + Z_{D0} + 3R} \quad (7)$$

M 侧故障相的母线电压变化量 ΔU 如式 (8) 所示。

$$\Delta U = U_N - (U_1 + U_2 + U_0) = U_N \left(1 - \frac{3R}{Z_{D1} + Z_{D2} + Z_{D0} + 3R} \right) \quad (8)$$

由式 (8) 可见, 由于系统阻抗为感性, 所以发生故障时故障相母线电压的零、负序分量增大, 故障相母线电压下降, 且下降的程度取决于过渡电阻和系统阻抗的大小: 在过渡电阻为 0 时电压变化量 $\Delta U = U_N$, 故障相母线电压降低 100%; 在发生高阻接地故障时, 若过渡电阻相较于系统阻抗很大, 则电压变化量 ΔU 将很小。

对于已有的电流互感器断线判据存在的问题, 如将高阻接地故障误判为电流互感器断线、大负荷电流互感器断线时的分段跳闸等, 由于不考虑电流互感器断线、电压互感器断线同时发生的情况, 只要保证电压判据的灵敏可靠, 已有的电流判据仍然有效, 因此本文基于传统的电流互感器断线判据, 增加了较为灵敏的零、负序电压及其突变量的辅助判据, 具体如图 3 所示。

图 3 中, $3U_0$ 为 3 倍的母线电压零序分量, $\Delta 3U_0$ 为 $3U_0$ 相对前一周电压值的突变量, U_2 为母线负序电压, ΔU_2 为 U_2 的突变量, $\Delta 3U_0$ 、 ΔU_2 的门槛值分别选择为 0.5 V 和 1 V, 在保证灵敏度的基础上躲过

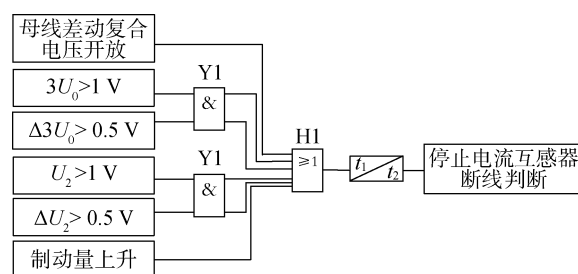


图 3 灵敏电压判据逻辑图

Fig.3 Logic diagram of sensitive voltage criterion

系统不平衡导致的零、负序电压; t_1 为闭锁延时; t_2 为闭锁返回延时。当正常情况下发生电流互感器断线时, 由于母线电压不变, 电流互感器断线电流判据可正常执行并进行可靠判断; 当发生高阻性故障时, 制动量变化不明显 (上升), 母线差动复合电压有可能不开放 (与过渡电阻大小有关), 此时仅靠复合电压闭锁和制动量上升为闭锁判据的传统电流互感器断线判据会将高阻性故障误判为电流互感器断线, 闭锁差动保护, 当高阻接地故障转换为金属性故障 (只要转换时间超过电流互感器断线延时) 时, 差动保护将不可避免地发生拒动。在增加了灵敏电压辅助判据后, 在单电源情况下发生电流互感器断线或者故障将不再受制于电流判据的影响; 而对于不完全电流互感器断线, 只要选择合适的制动量上升判据门槛及延时值, 也仍可正确判断为电流互感器断线。

采用双母线等接线形式时 1 段母线检修或者电压互感器检修将影响图 3 中的灵敏电压判据, 因此本文提出了电流互感器断线电流判据逻辑如图 4 所示。

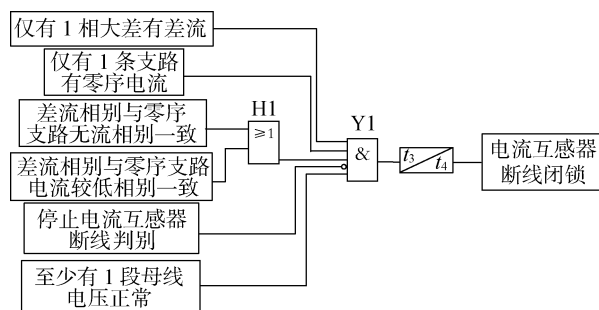


图 4 电流互感器断线判据逻辑图

Fig.4 Logic diagram of CT failure criterion

如图 4 所示, 为防止 1 段母线检修或者电压互感器检修影响灵敏电压判据的可靠性, 增加了至少有 1 段母线电压正常的辅助判据。当 2 段母线电压均正常时, 执行电流互感器断线电流判据; 当 1 段母线检修时, 全部支路倒闸至另外一段母线, 该段母线无电压, 但由于另外一段母线电压正常, 发生支路电流互感器断线时, 电流互感器断线电流判据仍能进行可靠判断; 当 1 段母线的电压互感器检修时, 如果一次电压互感器并列, 则等同于双母线正

常运行,如果一次电压互感器不并列,则由于另外一段母线电压正常,电流判据仍能进行可靠判断。经过上所述判据处理,本文的电流互感器断线判据对特殊工况下的电流互感器断线具有较高的适用性。

差流达到定值后,双母双分段接线的分段直接出口跳闸,不经过母线电压闭锁,此时传统的电流互感器断线判据可能造成大负荷断线后2个分段跳闸,因此本文提出了如图5所示的双母双分段跳闸逻辑。如图5所示,由于双母双分段接线的分段跳闸不经电压闭锁,当发生大负荷电流互感器断线时,母线差流可能超过保护定值,如果不采取措施,分段将可能误出口。电流互感器断线时制动电流下降,而发生故障时制动电流上升,基于此本文在传统母线差动分段跳闸判据的基础上增加制动量突升判据,二者经过与门跳分段出口,很好地解决了分段误出口问题。

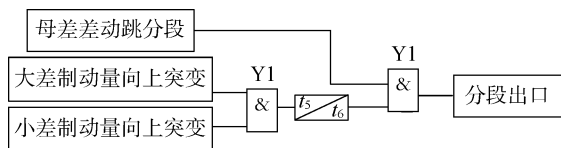


图5 双母双分段接线分段跳闸逻辑图

Fig.5 Logic diagram of subsection trip in dual-bus dual-subsection wiring mode

2.2 电压互感器不接入母线保护

对于3/2接线的母线保护,由于不接入母线电压互感器,母线电流互感器断线判断只能依靠电流判据。采用3/2接线时,电流互感器接入母线保护装置的示意图如图6所示。

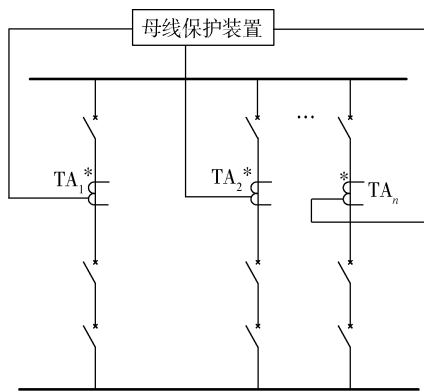


图6 采用3/2接线时,电流互感器接入母线保护装置示意图

Fig.6 Schematic diagram of CT connected to bus protection in 3/2 wiring mode

当发生大负荷电流互感器断线时,由于差动保护的快速性,传统带延时的电流互感器断线判据将无法快速闭锁差动保护,最终导致差动保护误动。为了解决上述问题,本文采用如图7所示的快速电

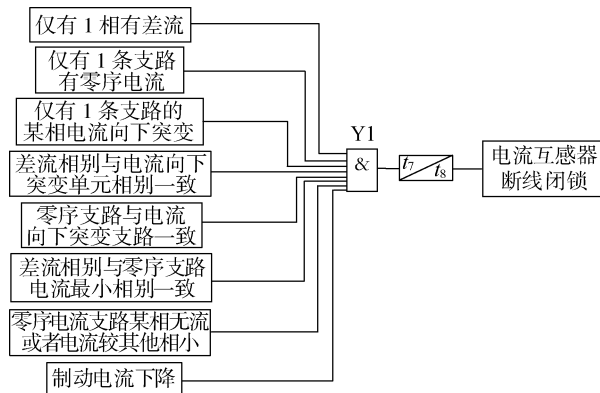


图7 快速电流互感器断线判据逻辑图

Fig.7 Logic diagram of fast CT failure criterion

流互感器断线判据。

如图7所示,当发生大负荷电流互感器断线时,快速电流互感器断线判据能够准确判断出断线单元及相别,选择合适的延时 t_7 、 t_8 (t_7 、 t_8 的典型取值分别为3 ms、200 ms),能够及时闭锁差动保护,防止其误动。发生母线区内单相高阻接地故障时,至少有1条支路的制动电流是上升的,上升程度取决于过渡电阻的大小,图7所示判据不会误判为电流互感器断线。单电源系统发生故障时,其他支路的零序电流较小,可能会由于零序电流门槛值而误判为仅有1条支路有零序电流,但发生故障时零序支路的电流是向上突变的,制动电流也是上升的,同样不会误判为电流互感器断线。在不完全电流互感器断线的情况下,由于断线支路的电流交替上升和下降,直至发展为完全断线,因此,图7中支路电流向下突变和制动电流下降判据有可能失效,导致无法可靠判断电流互感器断线,为此本文增加了如图8所示的慢速电流互感器断线判据。

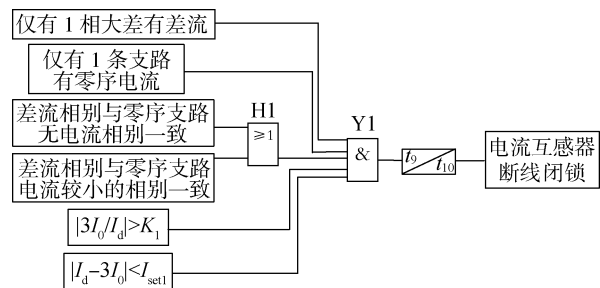


图8 慢速电流互感器断线逻辑图

Fig.8 Logic diagram of slow CT failure criterion

图8中, $3I_0$ 为有零序电流支路的零序电流; I_d 为大差差流; K_1 为内部定值; I_{set1} 为内部门槛值。当发生单相电流互感器断线时,不考虑其他支路的零序电流,差流等于断线支路的零序电流,两者的比值 K 约等于1,两者之差约等于0,考虑各间隔的综合误差, K_1 、 I_{set1} 的典型取值分别为0.7~0.9和 $0.08I_n \sim 0.15I_n$ (I_n 为二次额定电流)。

图8所示判据中,零序电流与差流的比值是区分

电流互感器断线和高阻接地故障的关键。在发生电流互感器断线时,母线差流应等于断线支路断线相的 3 倍零序电流。而发生高阻接地故障时,以图 2 系统为例,零序电流会从母线故障点流向两侧, M 侧和 N 侧的零序电流 I_{M0} 和 I_{N0} 分别如式(9)、(10)所示。

$$I_{M0} = I_0 \frac{Z_{L0} + Z_{T20}}{Z_{T0} + Z_{L0} + Z_{T20}} \quad (9)$$

$$I_{N0} = I_0 \frac{Z_{T10}}{Z_{T0} + Z_{L0} + Z_{T20}} \quad (10)$$

由式(9)、(10)可见,发生高阻接地故障时,零序电流的分配与各支路零序回路的阻抗有关,对于其他多支路接入的母线,零序电流将被各支路按零序阻抗的反比分配,一般不会出现大比例零序电流集中于 1 条支路的情况,与电流互感器断线时的零序电流特点区别明显。

对于正常电流互感器断线,上述判据可进行准确可靠的判断;对于不完全电流互感器断线,尽管断线支路的电流有变化(上升、下降),但差流及零序电流、差流和零序电流的比值/差值同样满足判据条件,可准确判断为电流互感器断线;对于高阻接地故障,由于发生故障时零序电流的分布与过渡电阻无关^[9],不会误判为电流互感器断线;特别地,当单电源系统发生高阻接地故障时,只要选择 K_1 、 I_{set1} 取值合理,本文判据仍然不会误判为电流互感器断线。

3 仿真实验

为验证本文所述电流互感器断线判据的实用效果,分别在双母双分段接线和 3/2 接线方式下,利用 RTDS 对电流互感器大负荷断线、高阻接地故障等进行仿真,仿真模型见图 9、图 10。

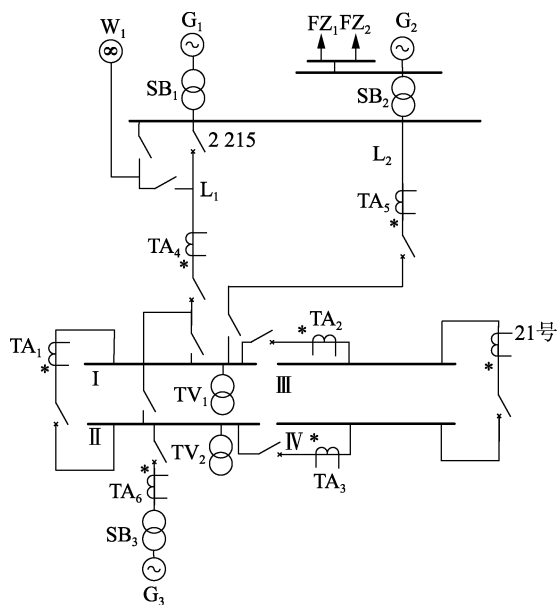


图 9 双母双分段接线方式的 RTDS 仿真模型

Fig.9 RTDS simulation model of dual-bus dual-subsection wiring mode

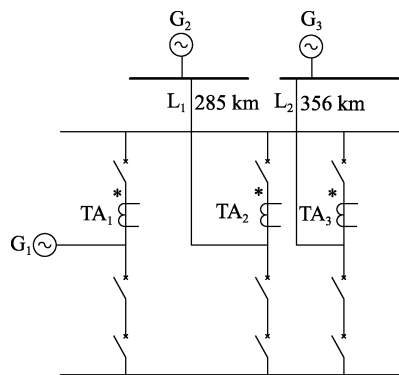


图 10 3/2 接线方式的 RTDS 仿真模型

Fig.10 RTDS simulation model of 3/2 wiring mode

(1) 220 kV 双母双分段接线仿真系统参数:

a. W_1 为无穷大系统,有 3 000 MV·A 和 10 000 MV·A 2 种容量;

b. G_1 为 3 000 MW 发电厂, G_2 、 G_3 为 300 MW 发电厂;

c. FZ_1 、 FZ_2 为 100 MW 负载,其中异步电机负载占 60%;

d. L_1 、 L_2 均为 220 kV 线路,线路长度为 100 km;

e. TA_1 — TA_6 的变比均为 1 250 A : 1 A;

f. TV_1 、 TV_2 的变比均 220 kV : 0.1 kV。

(2) 500 kV 3/2 接线仿真系统参数:

a. 各支路电流互感器变比均为 1 250 A : 1 A;

b. G_1 的正序阻抗为 200 Ω ,零序阻抗为 300 Ω ;

c. G_2 的正序阻抗为 100 Ω ,零序阻抗为 140 Ω ;

d. G_3 的正序阻抗为 200 Ω ,零序阻抗为 300 Ω ;

e. 支路 L_1 的正序阻抗为 0.25 Ω /km,零序阻抗为 0.71 Ω /km;

f. 支路 L_2 的正序阻抗为 0.25 Ω /km,零序阻抗为 0.71 Ω /km;

g. 仿真过程中,通过调整零序阻抗改变零序电流分布。

3.1 双母线双分段接线方式下的大负荷电流互感器断线仿真

双母线双分段接线方式下的大负荷电流互感器断线仿真的录波如图 11 所示,图中, i_{a2} 、 i_{b2} 、 i_{c2} 为 TA_3 所接入的电流; i_{d2A} 为母线 II 小差差流; i_{f2A} 为母线 II 小差制动电流; i_{dA} 为大差差流; i_{fA} 为大差制动电流。

如图 11 所示, L_2 的 A 相发生大负荷电流互感器断线,此时差动保护动作条件满足,母线 II 的 A 相差动保护动作,由于母线电压正常,母线 II 支路可靠不出口,但是如果不采取措施,母线 II 所连接分段将不可避免地发生误出口(分段不经电压闭锁)。采用图 5 所示逻辑后,由于母线 II 的小差制动电流 i_{f2A} 、大差制动电流 i_{fA} 均减小,不满足分段出口条件,则分段可靠不动作。因此,本文所提改进电流互感器断线判据判据是有效的。

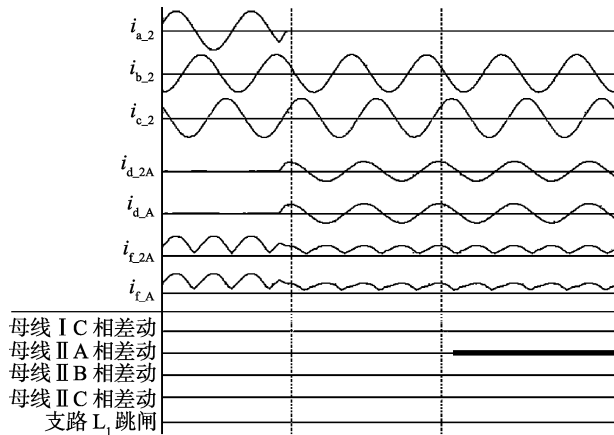
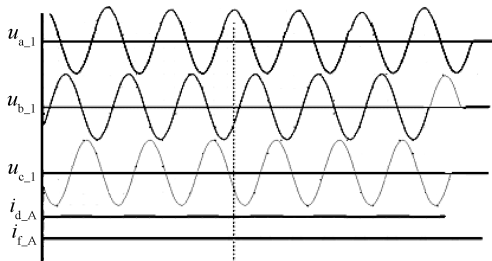


图 11 双母线双分段接线方式下的大负荷
电流互感器断线仿真录波

Fig.11 Recording simulative waveforms of heavy load
CT failure in dual-bus dual-subsection wiring mode

3.2 双母线双分段接线方式下的单相高阻接地仿真

双母线双分段接线方式下的单相高阻接地仿真的录波如图 12 所示,图中, $U_{a,1}$ 、 $U_{b,1}$ 、 $U_{c,1}$ 为 TV₁所接入的母线 I 电压。



谐波分析	
名称	基波
$U_{a,1}$	59.27 V
$U_{b,1}$	60.63 $\angle$ 241.52° V
$U_{c,1}$	60.53 $\angle$ 121.50° V
$i_{d,A}$	0.16 $\angle$ 208.08° A
母线 I 零序电压	2.10 $\angle$ 232.88° V
母线 II 零序电压	2.10 $\angle$ 232.89° V

图 12 双母线双分段接线方式下的单相高阻
接地故障仿真录波

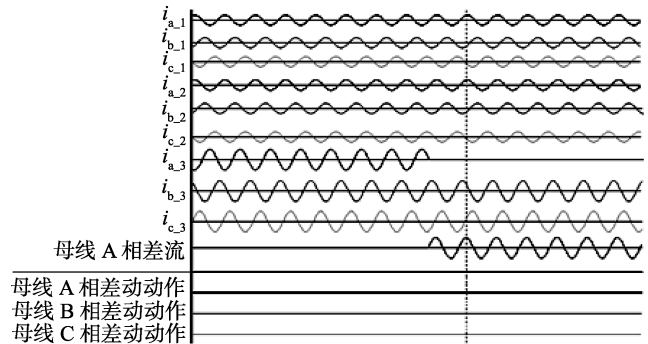
Fig.12 Recording simulative waveforms of single-phase
grounding fault with high resistance in dual-bus
dual-subsection wiring mode

如图 12 所示,当发生母线区内单相高阻接地故障时,由于过渡电阻的影响,复合电压闭锁可能不开放,传统的电流互感器断线判据会误判为电流互感器断线,一旦高阻接地故障转换为金属性故障,将造成母线保护拒动。采用如图 3 所示的灵敏电压判据后,电压小幅变化达到灵敏电压判据门槛,制动电流略有上升,则电流互感器断线停止,避免将单相高阻接地故障误判为电流互感器断线。

3.3 3/2 接线方式下的大负荷电流互感器断线仿真

3/2 接线方式下的大负荷电流互感器断线仿真的录波如图 13 所示,图中, $i_{a,1}$ 、 $i_{b,1}$ 、 $i_{c,1}$ 、 $i_{a,2}$ 、 $i_{b,2}$ 、 $i_{c,2}$

和 $i_{a,3}$ 、 $i_{b,3}$ 、 $i_{c,3}$ 分别为 RTDS 实验中 TA₁、TA₂、TA₃ 所接入的电流; I_{10} 、 I_{20} 、 I_{30} 为对应的支路零序电流。



谐波分析	
通道	基波
母线 A 相差流	0.700 $\angle$ 105.00° A
I_{10}	0 $\angle$ 90° A
I_{20}	0 $\angle$ 90° A
I_{30}	0.700 $\angle$ 90° A

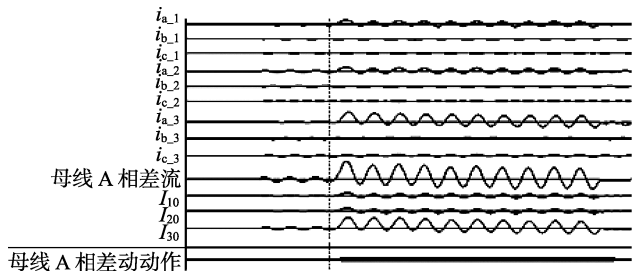
图 13 3/2 接线方式下的大负荷电流互感器
断线仿真录波

Fig.13 Recording simulative waveforms of heavy
load CT failure in 3/2 wiring mode

如图 13 所示,当发生大负荷电流互感器断线时,仅有 A 相有差流,仅有支路 L₃有零序电流,且仅有 TA₃ 所在支路的 A 相电流向下突变,制动电流减小,支路 L₃的 A 相无流,满足本文图 7 所示的快速电流互感器断线判据,则判断为电流互感器断线,快速闭锁差动保护。

3.4 3/2 接线形式下的单相高阻接地故障转金属性故障仿真

3/2 接线形式下,发生母线区内 A 相经 300 Ω 过渡电阻接地故障转金属性接地故障的波形如图 14 所示,母线区内 C 相经 600 Ω 过渡电阻接地故障转金属性接地故障的波形如图 15 所示。



谐波分析	
通道	基波
母线 A 相差流	0.735 $\angle$ 284.92° A
I_{10}	0.149 $\angle$ 271.99° A
I_{20}	0.147 $\angle$ 272.87° A
I_{30}	0.430 $\angle$ 266.91° A

图 14 母线区内 A 相经 300 Ω 过渡电阻接地
故障转金属性接地故障的录波

Fig.14 Recording simulative waveforms of phase-A grounding
fault with 300 Ω resistance transferring into metallic fault

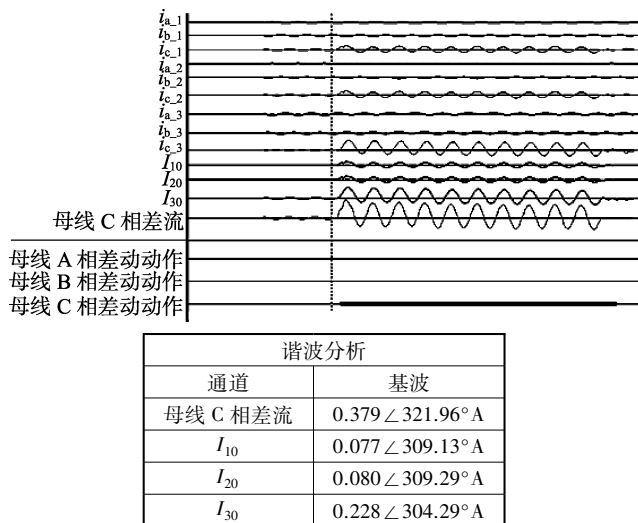


图 15 母线区内 C 相经 600 Ω 过渡电阻接地故障转金属性接地故障的录波

Fig.15 Recording simulative waveforms of phase-C grounding fault with 600 Ω resistance transferring into metallic fault

如图 14 所示,当母线发生 A 相区内高阻接地故障时,由于母线连接单元电流上升,根据图 7 所示的快速电流互感器断线逻辑不会误判为电流互感器断线;由于多路有零序电流,根据图 8 所示的慢速电流互感器断线逻辑同样不会误判为电流互感器断线。当高阻接地故障转换为金属性接地故障时,差动保护快速动作出口。

如图 15 所示,当母线发生 C 相区内高阻接地故障时,由于母线连接单元电流上升,根据图 5 所示的快速电流互感器断线不会误判为电流互感器断线;由于支路 L_1 、支路 L_2 零序电流低于内部设置的门槛,图 8 构成的慢速电流互感器断线判据将判断为仅 1 条支路有零序电流,但由于 $|3I_0/I_d| = 0.6 < K$ ($K = 0.7 \sim 0.9$)、 $|I_d - 3I_0| = 0.157 > I_{\text{set1}}$ ($I_{\text{set1}} = 0.08I_n \sim 0.15I_n$),所以不会误判为电流互感器断线。当高阻接地故障转为金属性故障时,母线 C 相差动快速动作。

3.5 3/2 接线方式下的不完全电流互感器断线仿真

3/2 接线方式下的不完全电流互感器断线仿真录波见图 16。

如图 16 所示,支路 L_3 的 A 相发生不完全电流互感器断线,此时由于制动电流下降不明显(下降和上升交替出现),快速电流互感器断线判据不能进行准确判断。由于:仅有 1 相有差流,仅有 1 条支路有零序电流,差流相(A 相)与电流较小的相(支路 L_3 的 A 相)相别一致; $|3I_0/I_d| = 0.93 > K$ ($K = 0.7 \sim 0.9$)、 $|I_d - 3I_0| = 0.017 < I_{\text{set1}}$ ($I_{\text{set1}} = 0.08I_n \sim 0.15I_n$),满足慢速电流互感器断线判据条件,可靠判断为电流互感器断线。

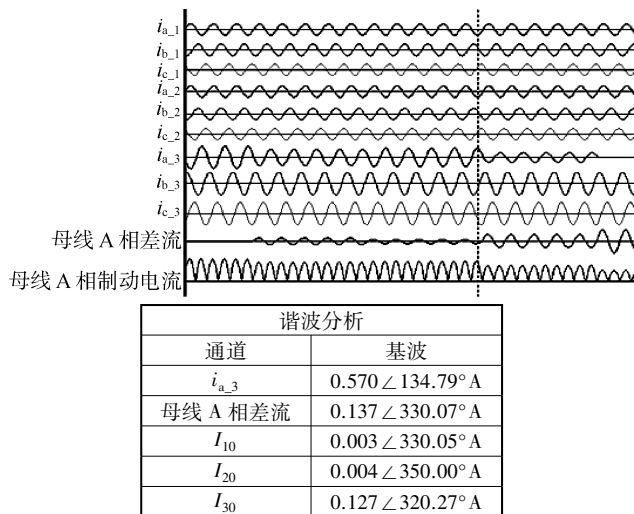


图 16 3/2 接线方式下的不完全电流互感器断线录波波形
Fig.16 Recording simulative waveforms of incomplete CT failure

4 结语

通过分析现有母线保护电流互感器断线逻辑,指出其存在不足。结合现行标准对母线保护电流互感器断线的基本原则,本文提出了适用于双母线等接线方式的基于灵敏电压判据,针对 3/2 接线方式下无电压互感器接入的母线保护,提出了基于支路零序电流的快速电流互感器断线、基于零序电流及其与差流比例的慢速电流互感器断线方法。通过对 RTDS 试验仿真录波的数据进行回放,对本文提出的算法进行检验,结果表明:对于双母线等接线方式下接入电压互感器的母线保护,灵敏的电压判据能够解决将高阻接地故障误判为电流互感器断线、大负荷电流互感器造成母线分段误动等问题,对于不完全电流互感器断线、单电源系统的电流互感器断线同样有较好的适用性;对于 3/2 接线方式下不接入电压互感器的母线保护,基于支路零序电流及其差流支路电流变化趋势的快速电流互感器断线判据,能够解决大负荷电流互感器断线差动保护可能误动的问题;基于支路零序电流及其与差流比例的慢速电流互感器断线判据,能够解决将高阻接地故障误判电流互感器断线、不完全电流互感器断线等问题。本文提出的判据已在 SGB-750 母线保护装置中应用,并通过了国网六统一相关检测,在现场的大量工程应用中也取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 中国国家标准委员会. 电流互感器:GB 1208—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] 国家能源局. 电流互感器和电压互感器选择及计算导则:DL/T 866—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [3] 陈福锋. 电流互感器断线情况下的接地距离保护改进方案[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(12): 117-121.

- CHEN Fufeng. Improvement of grounding-fault distance protection under CT disconnection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(12):117-121.
- [4] 国家电网公司. 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1175—2013[S]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [5] 郑茂然,曾铁军,唐亚男,等. 3/2 接线电流互感器断线快速闭锁母差判据的研究[J]. 广东电力,2014,27(2):65-69.
- ZHENG Maoran, ZENG Tiejun, TANG Yanan, et al. Study on rapid interlock busbar differential criterion for 3/2 wiring CT break line [J]. Guandong Electric Power, 2014, 27(2):65-69.
- [6] 康丰,周小波,唐治国. 基于检测电流变化量的母线快速 CT 断线判断方案[J]. 华电技术,2015,37(9):29-32.
- [7] 李德佳,吉晓宏. 发电机纵差保护 CT 二次断线判别原理的分析和改进[J]. 继电器,2005,33(12):72-74.
- LI Dejia, JI Xiaohong. Analysis and improvement of CT secondary breakage criterion in generator differential protection[J]. Relay, 2005, 33(12):72-74.
- [8] 文明浩. 线路纵差保护 CT 二次断线判据分析[J]. 继电器, 2006, 34(18):1-3.
- WEN Minghao. Analysis of second loop break criterion of CT used in differential protection of transmission line[J]. Relay, 2006, 34(18):1-3.
- [9] 高中德,舒治淮,王德林,等. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京:中国电力出版社,2009:103-138.

作者简介:



唐治国

唐治国(1977—),男,陕西宝鸡人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护控制技术(E-mail: zhiguo-tang@sac-china.com);

陈琦(1985—),男,江苏盐城人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护技术;

周小波(1986—),男,江苏泰州人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护技术。

Analysis of CT failure criterion in bus protection and its improved criterion

TANG Zhiguo, CHEN Qi, ZHOU Xiaobo, WANG Yongxu, CHEN Hongyan

(Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract: The CT (Current Transformer) failure detection function is configured in the bus differential protection to improve its reliability. According to the existing specification, the differential protection should be blocked during the CT secondary breakage of the bus branch while not be blocked during the CT secondary breakage of the bus tie bay. So the CT failure detection has influence on the correct operation of bus protection. The disadvantage of the existing CT failure criterion is analyzed in the aspect of the heavy load CT failure, incomplete CT failure, grounding fault with high resistance and power system with single power source, based on which, the improved criterions are proposed: the sensitive voltage is adopted as an auxiliary criterion for the bus protection with voltage blocking, and the ratio of branch zero-sequence current to the differential current and the difference value between them are adopted as auxiliary criterions for the bus protection without voltage blocking. The simulative results show that the improved criterions can distinguish the CT failures and faults accurately and effectively, the differential protection will be reliably blocked when CT failure occurs, and the speed of differential protection won't be affected when the bus fault occurs.

Key words: relay protection; bus differential protection; electric current transformers; CT failure; sensitive voltage; zero-sequence current