

基于导纳参数识别的分布式母线保护新原理

杨程程^{1,2}, 宋国兵¹, 杨 阳¹, 徐海洋¹

(1. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 国网物资有限公司, 北京 100120)

摘要: 针对现有分布式母线电流差动保护受间隔数据采样不同步及传输延时影响的问题, 提出了一种基于导纳参数识别的分布式母线保护新原理。通过引入电压量来计算导纳, 定义各间隔导纳和的绝对值为差动导纳, 各间隔导纳绝对值的和为制动导纳。当母线发生区内故障时, 差动导纳等于制动导纳; 当母线发生区外故障时, 差动导纳反映母线对地的杂散电容, 远小于制动导纳。利用差动导纳和制动导纳的大小关系能够可靠区分母线区内、外故障。EMTP 仿真和实际录波数据分析表明: 所提新原理无需各间隔数据采样同步, 受传输延时影响小, 耐过渡电阻能力强, 在各种工况下均能可靠地区分母线区内外故障。

关键词: 电力系统保护; 分布式母线保护; 差动保护; 导纳; 同步采样; 参数识别; 故障分析

中图分类号: TM 773

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.03.018

0 引言

数字化变电站作为智能电网的关键组成部分, 在国内外飞速发展起来。变电站中母线承担着电流汇聚和分配的重任, 其可靠性对电力系统的安全稳定运行起着至关重要的作用^[1-5]。传统的微机母线保护主要采用集中式的保护方式, 二次接线复杂、成本高, 母线保护拒动可能会造成电力设备的损坏及系统的瓦解, 而母线保护误动将造成大面积停电。

随着计算机、通信技术水平的迅速提高, 分布式的母线保护以其结构简单、就地布置、便于实现双重化等优点成为未来发展的趋势^[5-7]。电流差动保护原理简单、可靠, 是目前传统微机式母线保护和分布式母线保护主要采用的保护原理。电磁式电流互感器存在饱和问题, 使其传变特性有所降低, 从而影响电流差动保护的性能, 电子式互感器的应用较好地解决了这一问题, 使得电流差动保护仍是分布式母线保护的首选原理^[8-10]。目前国内外已有的分布式母线保护产品, 如 ABB 的 REB500、AREVA 的 MICOM P740 型数字式分布式母线保护均采用此原理。

跨间隔的采样值同步是目前数字化变电站过程总线通信的难点之一。数字化变电站分为过程层、间隔层和站控层 3 个层面。与传统保护集中式地采集一次电压、电流量不同, 分布式保护将数据的采集和处理下放给过程层, 过程层中的每个间隔独立完成电压、电流的采集, 并将模拟量转换为数字量, 通过光纤传输数据。同一过程层中电流互感器和电压互感器数据是由同一采样设备生成, 电流和电压采样值

间不存在同步问题。因此, 实现分布式电流差动母线保护的关键是同步各间隔独立采集的数据。目前工程上普遍采用的是 GPS、IEEE1588 对时技术, 但时间同步系统的长期稳定性较差, 一旦失去同步源, 发生故障时很可能会误判而带来损失。网络风暴、网络拥塞等造成的数据传输延时也会影响数据的同步性。

针对同步性问题目前主要有 2 种解决方法。一种是通过改进同步技术来提高同步时钟的可靠性; 文献[11-12]提出利用母线保护中央控制单元(CU)和母线保护就地控制单元(BU)各自时间基准的差值来实现采样同步, 对同步技术做了改进; 文献[5]通过双配置时钟来提高同步源的可靠性。对时的方法增加了硬件的复杂性, 容易受电磁干扰, 实现成本高, 仍然依赖同步源。另一种是无需数据同步的分布式母线保护的新原理和新方法; 文献[13-15]提出利用母线所连各线路保护正反方向元件的配合来实现方向式的母线保护, 该方法原理较简单, 但当母线内部发生故障有汲出电流时会导致保护误判, 灵敏度降低; 文献[16-17]提出基于行波方向原理的分布式母线保护, 原理的实现所需信息量小, 各间隔的数据不需要同步, 但是在电压过零点发生故障时没有暂态行波, 保护原理存在缺陷; 文献[18]提出分散式电流方向母线保护, 原理简单、扩展方便, 但不适用于高压母线一台半断路器有汲出电流的情况。

为了解决分布式电流差动保护受数据不同步影响的问题, 本文基于参数识别理论^[19-22]提出了一种基于导纳参数识别的分布式母线保护新原理。该原理通过差动导纳和制动导纳的大小关系来识别母线区内、外故障。新原理无需间隔数据同步, 受数据传输延时影响小; 能够反映系统参数, 受系统运行方式影响小; 耐过渡电阻能力强。EMTP 仿真和实际录波数据分析验证了新原理的有效性和可行性。

收稿日期: 2016-05-16; 修回日期: 2017-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB215105)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2012CB215105)

1 母线保护导纳计算方法

以图 1 所示单母线为例进行分析,图中 U_M 、 U_i ($i=1,2,\dots,n$) 分别为母线电压和各条支路出口所测电压; I_i ($i=1,2,\dots,n$) 为各条支路出口所测电流,以母线指向线路为电流正方向; Y_i ($i=1,2,\dots,n$) 为各支路的导纳; F 和 F_1 为故障发生位置,分别位于母线区内和区外支路出口处。

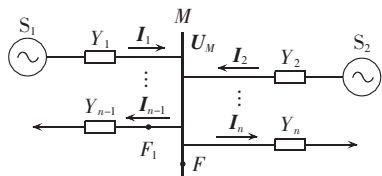


图 1 单母线接线示意图

Fig.1 Wiring diagram of a bus

分布式母线保护比率制动的电流差动保护判据为:

$$\left| \sum_{i=1}^n \Delta I_i \right| \geq K \sum_{i=1}^n |\Delta I_i| \quad (1)$$

其中, K 为比率制动系数; $\sum_{i=1}^n \Delta I_i = \Delta I_{\text{diff}}$ 为差动电流;

$\sum_{i=1}^n |\Delta I_i| = \Delta I_{\text{res}}$ 为制动电流。

母线发生区内、外故障时,式(1)不等号两边同除以母线电压变化量的绝对值 $|\Delta U_M|$,可得:

$$\left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_M} + \frac{\Delta I_2}{\Delta U_M} + \dots + \frac{\Delta I_n}{\Delta U_M} \right| \geq K \left(\left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_M} \right| + \left| \frac{\Delta I_2}{\Delta U_M} \right| + \dots + \left| \frac{\Delta I_n}{\Delta U_M} \right| \right) \quad (2)$$

母线所连间隔的保护装置安装在线路始端,因此母线电压变化量 $|\Delta U_M|$ 和各间隔采集到的电压变化量 ΔU_i ($i=1,2,\dots,n$) 在理论上是相等的,故式(2)可等价于:

$$\left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} + \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} + \dots + \frac{\Delta I_n}{\Delta U_n} \right| \geq K \left(\left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} \right| + \left| \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \right| + \dots + \left| \frac{\Delta I_n}{\Delta U_n} \right| \right) \quad (3)$$

目前,智能变电站的电压等级有 330 kV、500 kV 及 750 kV。对于 330 kV 及以上电压等级的智能变电站,母线出线即间隔单元必须配备三相电压互感器。同一间隔中电流、电压采样值间不存在同步问题,因此定义导纳 $Y_i = \Delta I_i / \Delta U_i$, $Y'_i = |\Delta I_i / \Delta U_i|$ ($i=1,2,\dots,n$),其中分子和分母是同步的,各 BU 可以独立计算导纳 Y_i 和 Y'_i ,因此式(3)可等效为:

$$\left| \sum_{i=1}^n Y_i \right| \geq K \sum_{i=1}^n Y'_i \quad (4)$$

综合式(3)和式(4),可定义差动导纳 Y_{diff} 为:

$$Y_{\text{diff}} = \left| \sum_{i=1}^n Y_i \right| = \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} + \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} + \dots + \frac{\Delta I_n}{\Delta U_n} \right| \quad (5)$$

定义制动导纳 Y_{res} 为:

$$Y_{\text{res}} = \sum_{i=1}^n Y'_i = \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1} \right| + \left| \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \right| + \dots + \left| \frac{\Delta I_n}{\Delta U_n} \right| \quad (6)$$

2 故障特征分析

在高压系统中,电源系统阻抗和线路阻抗的阻抗角都接近 90° ,假设图 1 中各支路阻抗的阻抗角近似相等,则母线发生区内、外故障时故障特征分析如下。

2.1 区内故障

当图 1 中点 F 发生故障时,母线内部故障附加状态如图 2 所示。图中, ΔU 为母线上点 F 的故障分量电压; ΔI_i ($i=1,2,\dots,n$) 为各条支路的故障分量电流。

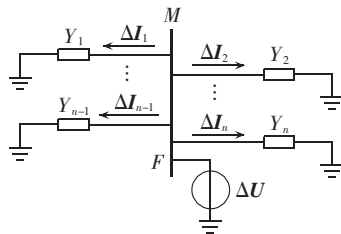


图 2 母线内部故障附加电路图

Fig.2 Additional circuitry for an in-zone bus fault

母线发生区内故障时,由图 2 可知各支路的故障电流均由母线流向线路,电流方向一致。根据差动导纳和制动导纳的定义,母线发生区内故障时差动导纳和制动导纳都等于母线所连各支路导纳的并联,其值较大。此时差动导纳和制动导纳可以表示为:

$$Y_{\text{diff}} = Y_{\text{res}} = \left| \sum_{i=1}^n Y_i \right| = |Y_1 \parallel Y_2 \parallel \dots \parallel Y_n| \quad (7)$$

即母线发生区内故障时,差动导纳和制动导纳的值大小相等,其值等于母线所连所有支路导纳值的并联。

2.2 区外故障

当图 1 中点 F_1 发生故障时,母线外部故障等效网络图如图 3 所示。其中, Z_C 为母线对地杂散电容容抗; ΔI_C 为母线对地电容电流的故障分量。

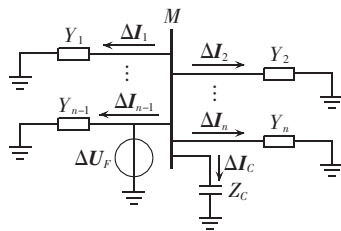


图 3 母线外部故障附加电路图

Fig.3 Additional circuitry for an out-zone bus fault

此时, $\sum_{i=1}^n \Delta I_i = -\Delta I_C$ 。结合第 1 节中的推导,差动导纳和制动导纳可分别表示为:

$$Y_{\text{diff}} = \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta U_M} + \frac{\Delta I_2}{\Delta U_M} + \dots + \frac{\Delta I_n}{\Delta U_M} \right| = \left| \frac{\Delta I_C}{\Delta U_M} \right| = \left| \frac{1}{Z_C} \right| = \omega C \quad (8)$$

$$Y_{\text{res}} = \sum_{i=1}^n |Y_i| = \sum_{i=1}^{n-2} |Y_i| + |Y_n| + \left| \frac{\Delta I_{n-1}}{\Delta U_M} \right| = \sum_{i=1}^{n-2} |Y_i| + |Y_n| + \left| \frac{-\left(\sum_{i=1}^{n-2} \Delta I_i + \Delta I_n + \Delta I_C\right)}{\Delta U_M} \right| = \sum_{i=1}^{n-2} |Y_i| + |Y_n| + \left| \sum_{i=1}^{n-2} Y_i + Y_n + Y_C \right| \quad (9)$$

其中, C 为母线对地电容; Y_C 为母线对地杂散电容的导纳值。

由于电容的导纳非常小, 因此式(9)可近似为:

$$Y_{\text{res}} \approx \sum_{i=1}^{n-2} |Y_i| + |Y_n| + \left| \sum_{i=1}^{n-2} Y_i + Y_n \right| \quad (10)$$

由于母线发生区外故障时, 非故障支路的故障分量电流方向一致, 因此式(10)可进一步等效为:

$$Y_{\text{res}} = 2 \left(\sum_{i=1}^{n-2} |Y_i| + |Y_n| \right) = 2 |Y_1| |Y_2| \cdots |Y_{n-2}| |Y_n| \quad (11)$$

母线对地的等效电容通常在 $2000 \text{ pF} \sim 0.1 \mu\text{F}$ 之间, 因此差动导纳的数值非常小。而制动导纳等于母线非故障支路导纳的并联值的 2 倍, 其值较大。此时差动导纳远小于制动导纳。

2.3 过渡电阻的影响分析

常规的比率差动式母线保护的抗过渡电阻能力十分有限, 保护性能容易受故障前系统功角关系的影响。

理论上而言, 基于导纳参数识别的分布式母线保护, 由 2.1 节、2.2 节区内、外故障特征分析可知: 当母线发生区外故障时, 等效导纳等于母线的杂散容抗的倒数, 与过渡电阻无关; 当母线发生区内经过渡电阻 R_g 接地故障时, 母线内部故障附加状态等效网络如图 4 所示, 此时差动导纳和制动导纳仍然可以表示为 $Y_{\text{diff}} = Y_{\text{res}} = \sum_{i=1}^n Y_i = |Y_1| |Y_2| \cdots |Y_n|$, 依然等于母线各支路导纳的并联, 与过渡电阻无关。

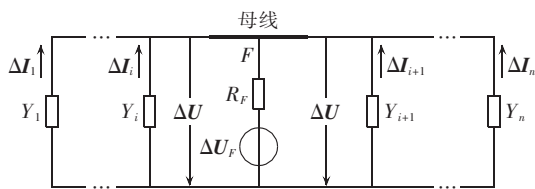


图 4 母线发生区内经过渡电阻接地故障附加电路图

Fig.4 Additional circuitry for an in-zone grounding fault with transition resistance

过渡电阻较大导致电压、电流的故障分量较小的情况下, 无论是对于基于导纳参数识别的母线保护还是传统的电流差动保护, 计算的准确性都会受到影响。

因此基于导纳参数识别的母线保护会受过渡电阻的影响, 但和常规母线保护相比, 仍具有较强的抗过渡电阻能力。

3 原理与判据

由第 2 节的分析可知, 母线发生区内故障时, 差动导纳等于制动导纳, 其值较大; 当母线发生区外故障时, 差动导纳远小于制动导纳, 其值较小。据此, 可构造如下纵联距离保护判据。

(1) 启动判据:

$$|\Delta u| > 1.5 \Delta U_T + \Delta U_{\text{dz}} \quad (12)$$

(2) 动作判据:

$$Y_{\text{diff}} \geq K Y_{\text{res}} \quad (13)$$

式(12)为母线电压突变量启动判据, 其中 ΔU_T 为母线电压变化量浮动门槛值, 随着变化量输出增大而逐步自动提高, 取 1.5 倍可保证门槛电压稍高于正常运行时的母线不平衡电压, 提高安全性, 且具有较高的灵敏度; ΔU_{dz} 为固定门槛值, 通常取为 $0.05 U_N$ (U_N 为母线的额定电压)。无论发生何种故障, 判据都能自适应地灵敏启动。

由第 1 节的分析可知, 理论上差动导纳 $Y_{\text{diff}} = \left| \frac{\Delta I_{\text{diff}}}{\Delta U_M} \right|$, 制动导纳 $Y_{\text{res}} = \left| \frac{\Delta I_{\text{res}}}{\Delta U_M} \right|$, 因此差动导纳和制动导纳的大小关系等同于差动电流和制动电流之间的大小关系。因此, 考虑到躲过最大不平衡电流及母线发生区内故障时汲出电流的影响, 一般取 K 值为 $0.6 \sim 0.8$ 。此时可保证母线发生区外故障时母线保护不动作, 母线发生区内故障时母线保护具有足够的灵敏度。

需要指出的是, 虽然发生故障时刻各间隔计算出的导纳没有时间特性, 无需间隔之间的数据同步, 但在分布式母线保护间隔数较多、数据传输量比较大的情况下, 数据传输的避让和等待增加了网络延时的不确定性, 这一不确定性会影响保护的可靠判别。因此新原理必须等到故障后所有的间隔数据传输到 CU 才能够可靠地实现保护。IEC61850 规定过程层的网络延迟必须小于 3 ms , 故故障后需经 3 ms 的延时来确认各间隔数据的传送, 以保证新原理的可靠实现。

此外, 各间隔采样后由二次电流和二次电压的比值计算出的导纳数量级较小, 虽然母线发生区内、外故障时差动导纳和制动导纳的相对差分值很大, 但是绝对差分值非常小。为了在工程上易于实现新原理, 对二次电流值放大 10^5 倍数。保护流程如图 5 所示, 图中 K_0 为二次电流扩大倍数, K_1 为电流互感器二次变比, K_2 为电压互感器二次变比。

算法的具体实现步骤如下:

- 通过差分法求出各间隔电流、电压故障分量;
- 用傅里叶算法提取电压、电流的工频分量;
- 利用最小二乘法计算差动导纳和制动导纳, 代入动作判据式(13)进行保护判别, 从而识别故障。

在电压等级大于或等于 500 kV 情况下, 非周期

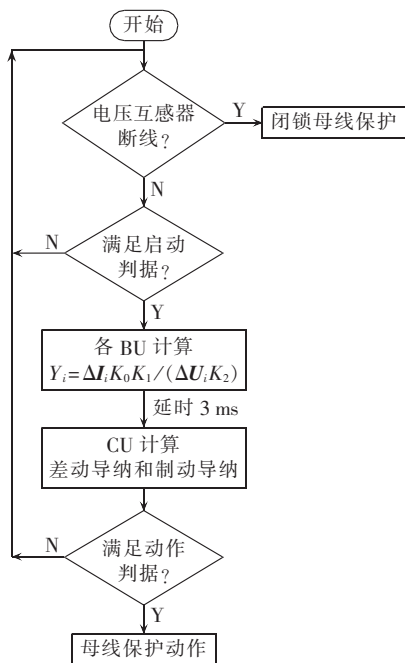


图 5 基于导纳参数的母线保护流程图

Fig.5 Flowchart of bus protection based on admittance parameters

衰减直流分量衰减较慢,傅里叶算法计算中可基本滤除;其他电压等级情况下需用滤波功能更好的滤波算法来减小非周期衰减直流分量对计算精度的影响。

4 仿真验证

4.1 EMTP 仿真验证

利用如图 6 所示的 500 kV 仿真系统验证基于导纳参数的分布式母线保护新原理的正确性。 S_1 端系统参数为 $Z_{s1} = 1 + j45.149 \Omega$ 、 $Z_{s0} = 2 + j23.231 \Omega$, S_2 端系统参数与 S_1 端系统参数相同; M_1 端系统参数为 $Z_{M1} = 300 + j500 \Omega$, M_2 端系统参数与 M_1 端系统参数相同;线路长度为 100 km;其他参数为 $R_0 = 1.1957 \Omega$ 、 $\omega l_0 = 0.6954 \Omega$ 、 $\omega C_0 = 0.02003 \Omega$ 、 $R_1 = 0.0027 \Omega$ 、 $\omega l_1 = 0.3028 \Omega$ 、 $\omega C_1 = 0.01419 \Omega$;母线对地电容 $C = 2500 \text{ pF}$ 。

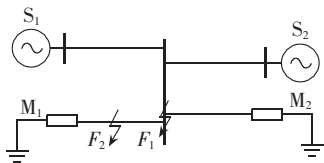


图 6 500 kV 母线保护仿真系统

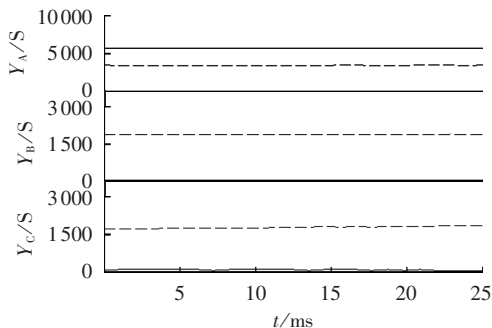
Fig.6 500 kV bus protection system for simulation

利用图 6 中的模型进行仿真,采样频率为 4 kHz,数据窗长为 20 ms。系统在 $t_0 = 0.1 \text{ s}$ 时发生故障,故障持续 0.1 s。为了验证式(13)所示动作判据,仿真中取制动导纳与制动系数的乘积作为制动导纳的计算值,制动系数 K 取 0.6。二次电流放大倍数 K_0 取 10^5 。为了充分验证原理的可行性和无需数据同步的特

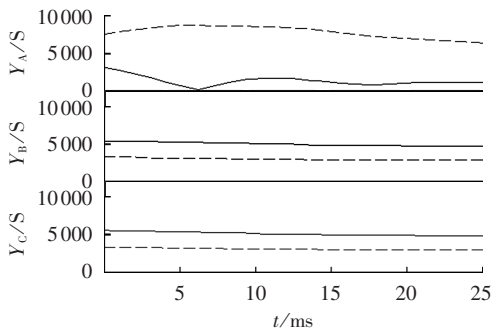
点,假设线路 1 的故障零时刻为 t_0 ,线路 2 的故障零时刻为 $t_0 + 1 \text{ ms}$,线路 3 和线路 4 依次类推,以此来模拟各间隔数据采样的不同步。

4.1.1 母线区、内外故障仿真验证

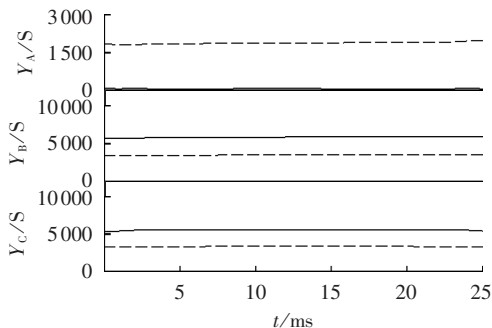
在模拟数据不同步前提下,验证母线发生区内、外各种不同故障情况下新原理的可行性。图 7 为母线发生各类区内故障情况下的仿真结果。



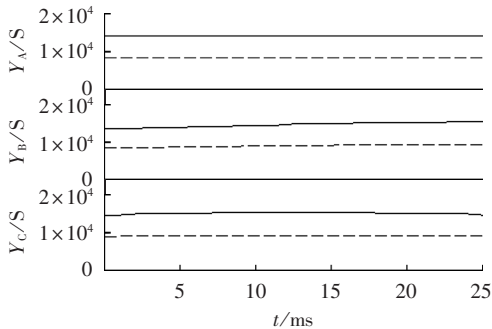
(a) 区内 A 相接地故障



(b) 区内 BC 相间故障



(c) 区内 BC 两相接地故障



(d) 区内 ABC 三相短路故障

—— 差动导纳, ---- 制动导纳

图 7 母线发生区内故障的仿真结果

Fig.7 Simulative results of in-zone bus fault

由图 7 可看出,当母线发生区内故障时,对于任意一种故障类型均可得出:故障相差动导纳大于制动导纳的计算值,非故障相差动导纳远小于制动导纳的计算值,因此在间隔采样不同步和二次电流放大的情况下,新原理能够可靠识别母线区内故障。

图 8 为母线发生各类区外故障情况下的仿真结果。由图 8 的仿真结果可以看出,当母线发生区外故障

时,对于任意一种故障类型均可以得出:故障相和非故障相的差动导纳均远小于制动导纳的计算值,因此在间隔采样不同步和二次电流放大的情况下,母线发生区外故障时基于导纳参数识别的母线保护可靠不动作。

4.1.2 对比仿真验证

为了更好地验证在母线各间隔采样数据同步、不同步情况下,新原理和传统电流差动保护在性能上的优劣,应用上述模型进行对比验证,对比结果见表 1、2。其中,灵敏度指标 K_{sen} =差动量/($K\times$ 制动量), K 为制动系数,取值为 0.6。

表 1 故障数据同步时导纳差动保护与电流差动保护的绩效对比

故障类型	导纳差动保护		电流差动保护	
	动作情况	灵敏度	动作情况	灵敏度
区内 A 相金属性接地故障	动作	1.67	动作	1.66
区内 A 相经 200 Ω 电阻接地故障	动作	1.67	动作	1.58
区内 BC 相间金属性短路故障	动作	1.67	动作	1.64
区内 BC 两相经 10 Ω 电阻相间短路故障	动作	1.67	动作	1.64
区外 A 相金属性接地故障	不动作	—	不动作	—
区外 A 相经 200 Ω 电阻接地故障	不动作	—	不动作	—
区外 BC 相间金属性短路故障	不动作	—	不动作	—
区外 BC 相经 20 Ω 电阻相间故障	不动作	—	不动作	—

表 2 故障数据不同步时导纳差动保护与电流差动保护的绩效对比

故障类型	导纳差动保护		电流差动保护	
	动作情况	灵敏度	动作情况	灵敏度
区内 A 相金属性接地故障	动作	1.67	动作	1.57
区内 A 相经 200 Ω 电阻接地故障	动作	1.66	不动作	0.91
区内 BC 相间金属性短路故障	动作	1.67	动作	1.60
区内 BC 相经 20 Ω 电阻相间短路故障	动作	1.67	动作	1.60
区外 A 相金属性接地故障	不动作	—	不动作	—
区外 A 相经 200 Ω 电阻接地故障	不动作	—	不动作	—
区外 BC 相间金属性短路接地故障	不动作	—	动作	—
区外 BC 相经 20 Ω 电阻相间短路故障	不动作	—	动作	—

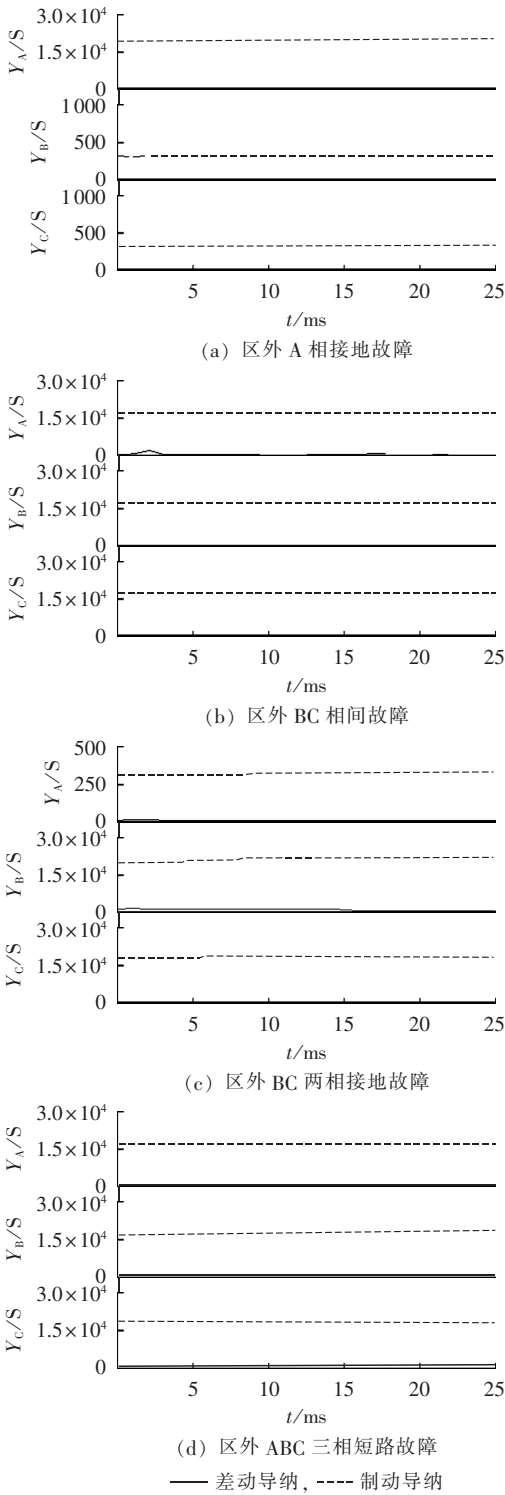


图 8 母线发生区外故障的仿真结果
Fig.8 Simulative results of out-zone bus fault

由表 1 和表 2 对比仿真结果可以看出,在数据采样同步的情况下,导纳差动保护与电流差动保护在可靠性和灵敏性方面基本相同;在数据采样不同步的情况下,导纳差动保护的可靠性和灵敏度不受数据采样不同步影响,而电流差动保护的可靠性和灵敏度下降,出现拒动、误动的情况。

4.2 录波数据验证

为了进一步验证新原理的有效性,本文收集了西安电网变电站母线发生区内、外故障的相关录波数据,以实际数据对新原理的可行性、无需数据同步的优点做进一步验证。为了验证式(13)所示动作判据,本节仍取制动导纳与制动系数的乘积作为制动导纳的计算值,制动系数为 0.6。

2013 年 8 月 1 日 00:17:31,西安某变电站 110kV 母线发生区内 A 相接地故障,该变电站每周期采样 64 点。同样为了模拟各间隔采样的不同步,堂高 I 线的故障起始时刻为故障起始时刻,堂高 II 线的故障起始时刻为故障后第 4 个采样点,剩余 2 条线路依此类推。发生区内 A 相接地故障时的差动电流实际波形和导纳计算结果如图 9 所示。

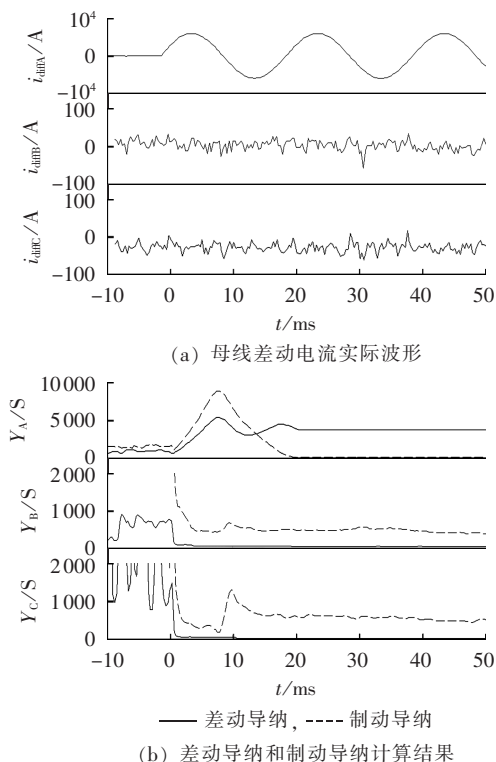


图 9 母线发生区内 A 相接地故障时的验证结果
Fig.9 Results of verification for in-zone phase-A grounding fault

2010 年 3 月 26 日 19:06,西安某变电站出线发生 A 相接地短路故障,保护动作、开关跳闸,开关重合后,线路保护再次动作、开关跳闸。Q 站母线保护未动作,该变电站每周期采样 64 点。模拟各间隔采

样的不同步与上例相同。差动电流实际波形和导纳计算结果如图 10 所示。

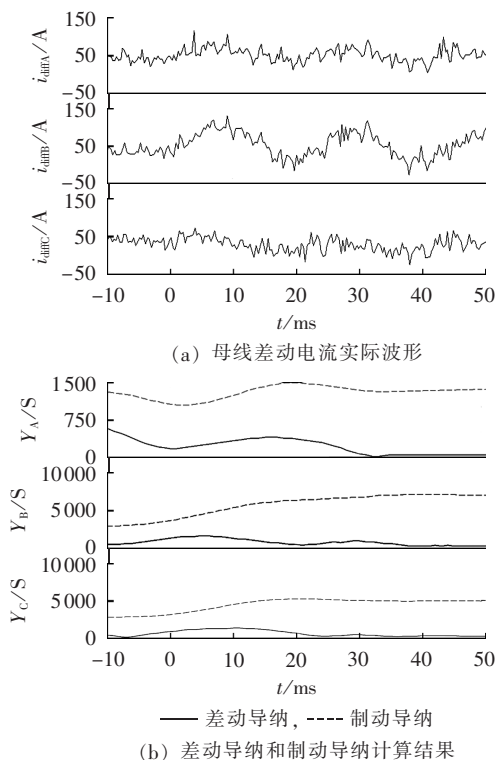


图 10 母线发生区外 A 相接地故障时的验证结果
Fig.10 Results of verification for out-zone phase-A grounding fault

由图 9 和图 10 对录波数据的验证结果可以看出,在模拟各间隔采样不同步的情况下,故障实际录波数据的仿真验证结果与 EMTP 仿真结果相同:母线发生区内故障时,故障相 A 相的差动导纳大于制动导纳的计算值,非故障相 B 相和 C 相的差动导纳远小于制动导纳的计算值;母线发生区外故障时,故障相 A 相和非故障相 B 相和 C 相的差动导纳均远小于制动导纳的计算值。其中图 9(b)中为了更清楚地显示故障后差动导纳和制动导纳的关系,故障前的差动导纳和制动导纳图形未显示完全。

综上所述,新原理能够可靠区分母线区内、外故障,并且不受间隔采样不同步的影响。

5 结论

本文提出了一种基于导纳参数识别的分布式母线保护新原理。新原理利用差动导纳和制动导纳的关系来进行保护的判别。EMTP 仿真和实际录波数据验证表明:新原理能有效识别母线区内、外故障;无需各间隔采样同步,受数据传输延时影响小,耐过渡电阻能力强。由于原理采用了故障分量进行计算,因而只能在故障后 40 ms 内短时投入。可以考虑将新原理应用于高压母线主保护的双重化场合。

参考文献:

- [1] 李锋,谢俊,兰金波,等. 智能变电站继电保护配置的展望和探讨[J]. 电力自动化设备,2012,32(2):122-126.
LI Feng,XIE Jun,LAN Jinbo,et al. Prospect and discussion of relay system configuration for intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(2):122-126.
- [2] 宋方方,王增平,刘颖. 母线保护的现状及发展趋势[J]. 电力自动化设备,2003,23(7):66-68.
SONG Fangfang,WANG Zengping,LIU Ying. Status quo and development tendency of busbar protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(7):66-68.
- [3] QIN Bailin,GUZMAN-CASILLAS A,SCHWEITZER E O. A new method for protection zone selection in microprocessor-based bus relays[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2000,15(3):876-887.
- [4] 赵家庆,徐春雷,高宗和,等. 基于分布式同步方法的智能变电站采样值组网技术[J]. 电力系统自动化,2013,37(24):60-65.
ZHAO Jiaqing,XU Chunlei,GAO Zonghe,et al. A networking technology for sampled values in smart substations based on distributed synchronization method[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(24):60-65.
- [5] 邹贵彬,王晓刚,高厚磊,等. 新型数字化变电站分布式母线保护[J]. 电力自动化设备,2010,30(11):94-97.
ZOU Guibin,WANG Xiaogang,GAO Houlei,et al. Distributed busbar protection of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(11):94-97.
- [6] 王攀峰,张克元,文明浩,等. 应用于数字化变电站的分布式母线保护的研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(13):68-71.
WANG Panfeng,ZHANG Keyuan,WEN Minghao,et al. Research on distributed busbar protection applied to digital transformer substation[J]. Power System Protection and Control,2009,37(13):68-71.
- [7] 唐治国,许国斌,张发金. 基于光电互感器的数字式母线保护[J]. 电力自动化设备,2007,27(5):118-121.
TANG Zhiguo,XU Guobin,ZHANG Fajin. Digital bus protection based on optical current transducer[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(5):118-121.
- [8] 项巍,吕航,李力,等. 母线保护中电流互感器的深度饱和辅助判据[J]. 电力自动化设备,2005,25(9):39-42.
XIANG Wei,LÜ Hang,LI Li,et al. Distinguish current transformer's extreme saturation by waveform discrimination of branch current[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(9):39-42.
- [9] 李丽,都洪基,刘林兴,等. 计算谐波比确定母线保护中电流互感器的饱和[J]. 电力自动化设备,2003,23(7):69-72.
LI Li,DU Hongji,LIU Linxing,et al. Research on confirming CT's saturation in busbar protection by calculating harmonic ratio[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(7):69-72.
- [10] 李瑞生,路光辉,王强,等. 用于线路差动保护的电流互感器饱和判据[J]. 电力自动化设备,2004,24(4):70-73.
LI Ruisheng,LU Guanghui,WANG Qiang,et al. Transformer saturation criterion for line differential protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(4):70-73.
- [11] 鲍凯鹏,吕航,张绍纯,等. 集中式保护测控系统中母线保护同步方案[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):165-169.
BAO Kaipeng,LÜ Hang,ZHANG Shaochun,et al. Synchronization scheme of busbar protection for integrated protection and measuring scheme[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):165-169.
- [12] 刘伟,倪传坤,杨恢弘,等. 智能变电站分布式母线保护实现方案[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(16):139-146.
LIU Wei,NI Chuankun,YANG Huihong,et al. Implementation of distributed busbar protection applied to smart substation[J]. Power System Protection and Control,2011,39(16):139-146.
- [13] 刘东超,王开宇,胡绍刚,等. 基于数字化变电站的集中式保护[J]. 电力自动化设备,2012,32(4):117-121,128.
LIU Dongchao,WANG Kaiyu,HU Shaogang,et al. Intergrated protection based on intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(4):117-121,128.
- [14] 马超. 基于 IEC61850 的分布式母线保护研究[D]. 天津:天津大学,2009.
MA Chao. Research on distributed bus protection based on IEC61850[D]. Tianjin:Tianjin University,2009.
- [15] 王锐,王政涛,李海星,等. 基于 GOOSE 方式的网络化母线保护[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(14):51-54.
WANG Rui,WANG Zhengtao,LI Haixing,et al. Bus protection based on the GOOSE type network[J]. Power System Protection and Control,2009,37(14):51-54.
- [16] MOUSTAFA M E. A novel digital directional technique for bus-bar protection[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2004,19(4):1636-1641.
- [17] 段建东,张保会,张胜祥. 利用线路暂态行波功率方向的分布式母线保护[J]. 中国电机工程学报,2004,24(6):7-12.
DUAN Jiandong,ZHANG Baohui,ZHANG Shengxiang. A distributed bus protection using transient traveling wave power directions of transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(6):7-12.
- [18] 金耕岭,耿岩. 分散式电流方向母线保护的实现[J]. 电力自动化设备,2006,26(9):72-74.
JIN Gengling,GENG Yan. Implementation of distributed directional current bus protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(9):72-74.
- [19] 王晓芳,李付亮,袁旭龙,等. 采用无线传感器网络的分布式母线保护[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(8):75-80.
WANG Xiaofang,LI Fuliang,YUAN Xulong,et al. Distributed busbar protection using wireless sensor network[J]. Power System Protection and Control,2010,38(8):75-80.
- [20] 索南加乐,邓旭阳,焦在滨,等. 基于故障分量综合阻抗的母线保护新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(8):1-7.
SUONAN Jiale,DENG Xuyang,JIAO Zaibin,et al. Novel busbar protection based on fault component integrated impedance[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(8):1-7.
- [21] KANG Xiaoning,SUONAN Jiale,SONG Guobin,et al. Protection technique based on parameter identification-its principle and application[C]//2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. Pittsburgh,PA,USA:IEEE,2008:1-6.

- [22] SUONAN Jiale, QI Jun. An accurate fult location algorithm for transmission line based on $R-L$ model parameter identification [J]. Electric Power Systems Research, 2005, 76(1-3): 17-24.

作者简介:

杨程程(1988—),女,陕西延安人,硕士研究生,通信作者,研究方向为电力系统继电保护(E-mail:chengchengyang10@



杨程程

126.com);

宋国兵(1972—),男,河南信阳人,教授,博士,研究方向为电力系统继电保护;

杨阳(1992—),女,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护;

徐海洋(1992—),男,安徽滁州人,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

Distributed bus protection principle based on admittance parameter identification

YANG Chengcheng^{1,2}, SONG Guobing¹, YANG Yang¹, XU Haiyang¹

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. State Grid Materials Co. Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: As the existing distributed bus current differential protection is affected by the asynchronous sampling and transmission delay of bay data, a protection principle based on the admittance parameter identification is proposed. The voltage variable is introduced to calculate the admittance, the differential admittance is defined as the absolute summation of all bay admittances, and the braking admittance is defined as the summation of all absolute bay admittances. When an in-zone bus fault occurs, the braking admittance equals to the differential admittance; when an out-zone bus fault occurs, the differential admittance, reflecting the bus-ground stray capacitance, is much less than the braking admittance. The relationship between differential and braking admittances can be used to reliably distinguish an in-zone bus fault from an out-zone bus fault. EMTP simulation and actual fault-wave records show: being less affected by the transmission delay and better tolerant of the transition resistance, the proposed principle does not need the synchronous sampling of bay data and can identify the in-zone and out-zone bus faults in different operating conditions.

Key words: electric power system protection; distributed bus protection; differential protection; admittance; synchronous sampling; parameter identification; failure analysis

(上接第106页 continued from page 106)

Online vulnerable line identification based on multi-task asynchronous processing for power grid

BAI Yipeng¹, LÜ Feipeng¹, LIAO Xiaojun², LI Chunhai¹

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company Skills Training Center, Chengdu 610072, China)

Abstract: A method based on the multi-task asynchronous processing is proposed to quickly and accurately identify the vulnerable lines of power grid. The protection vulnerability is defined with the comprehensive consideration of the cooperative correlation degree and the colligated consequence severity of line protections. The power-flow betweenness with the comprehensive consideration of the topological structure and the operating mode of power system is adopted to estimate the vulnerability of line structure. A line vulnerability index combining the protection vulnerability and the power-flow betweenness is thus given. The multi-task asynchronous processing mode is applied to divide the calculation of index into several task modules to be dealt with concurrently. Results of case calculation show that, with better identification performance and high identification accuracy, the proposed method shortens the required time of vulnerable line identification effectively, suitable for online application.

Key words: electric power systems; multi-task; asynchronous processing; vulnerable line; vulnerability; online identification; protection vulnerability; power flow betweenness