

考虑多 DG 接入的配电网区域保护新方案

肖伟栋, 夏明超, 唐念

(北京交通大学电气工程学院, 北京 100044)

摘要: 分布式电源 (DG) 的接入改变了传统配电网的拓扑结构, 网络中潮流方向及短路电流会随着 DG 出力及负荷情况实时变化, 这都给现有配电网的三段式电流保护带来了严重影响。随着 DG 的大量接入及渗透率的提高, 依靠单点故障信息的保护算法很难同时满足继电保护四性的要求。提出一种基于通信技术的区域保护新方案, 对配电网进行区域划分, 通过一次和二次两步定位确定故障区域实现保护。利用故障时变电所母线处 Bus-IED (智能电子装置) 及馈线上 A 类 IED 的故障电流正序分量信息完成一次定位; 利用相应开关动作后 A 类 IED 或 B 类 IED 处的电流突变量信息实现二次定位。所提方案自适应区域划分算法简单, 占用存储空间小, 实现方便, 直观性好。故障定位所需信息量小, 可靠性高, 适应性强。最后通过 PSCAD/EMTDC 仿真, 验证了方案的正确性。

关键词: 分布式电源; 区域保护; 故障馈线选择; 故障定位保护; 电流突变量

A new regional protection scheme for distribution network considering the introduction of multi-DGs

XIAO Wei-dong, XIA Ming-chao, TANG Nian

(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The connection of DG transforms topology structure of traditional distribution network, power flow direction and fault current changes in real time with DG contributions and load conditions. These factors will bring serious influence on three-phase current protection of prevailing system. As DG quantity grows and penetration rate improves, protection algorithm relying on the single point fault information can't meet the four basic requirements of relay protection simultaneously. So that, this paper introduces a new regional protection scheme based on communication technology. The distribution network should be divided into distinct regions. The protection algorithm is composed of two steps: first and secondary fault locating to discover the fault section and achieve protection. We can utilize fault current positive-sequence component information from Bus-IED in substation and A-IEDs in feeder during fault periods to achieve first fault location, then take advantage of break-variable of current information from A-IEDs or B-IEDs after the corresponding breaker action to realize secondary fault location. In this scheme, adaptive region division has features of simple algorithm, small storage space, easy realization and good visibility. The advantages of fault location are little information, high reliability and good adaptability. Finally, simulation results from PSCAD/EMTDC verify the correctness of the method.

Key words : distributed generators; regional protection; fault feeder selection; fault location protection; break-variable of current

中图分类号: TM771 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)09-0103-07

0 引言

由于传统化石能源日益枯竭、环境污染日益严重, 以能源利用率高、环境兼容性好、适应可再生能源为特点的分布式电源(Distributed Generator, DG)日益成为研究的热点。分布式电源可以提高供电可靠性与灵活性, 降低网损, 改善电能质量, 同

时可以有效利用可再生能源, 减少温室气体排放。但另一方面, 分布式电源的接入, 使传统配电网从单电源供电变为双电源和多电源供电, 潮流方向不再固定, 短路时故障电流的幅值和相位也将发生变化, 这无疑会给传统的配电网继电保护带来影响^[1-2]。

随着 DG 接入量的增加, 渗透率的提高, DG 对保护的影响日益引起人们的重视, 相继提出了不同的解决方案, 大体思路有如下三种:

基金项目: 中央高校基本科研业务费 (2012JBM098)

第一，不改变保护原有配置和方案。首先考虑配电网故障时退出 DG 单元，但这对 DG 故障检测能力提出较高要求，同时也无法保证 DG 附近负荷持续供电，违背了 DG 接入的初衷；另外考虑限制 DG 接入的位置和容量，文献[3]指出此时 DG 准入容量受到很大限制，没有达到最大程度利用清洁能源，减少输电投资及网损的目的。

第二，考虑 DG 接入对故障电流的影响，采用自适应保护方案。文献[4]提出根据 DG 的功率实时调整电流定值，使得 DG 接入后保护的最小保护范围维持 DG 接入系统前的水平。文献[5]提出支路贡献因子概念，增加了后备保护的覆盖范围。文献[6]提出计算系统等值阻抗 Z 和系统等值相电动势 E 的新方法，改善了含逆变型 DG 的配电网系统的保护性能。自适应保护需要电压量的参与，中低压配电网一般没有 PT（电压互感器），应用范围受到限制。

第三，基于通信技术，考虑多点信息的保护方案。现有配电网中 DG 数量及容量不断增加，运行方式将更加灵活，利用单点信息的保护很难满足运行实际的要求，所以基于通信技术，考虑多点信息的保护方案相继提出。文献[7]提出基于多 Agent 的智能配电网改进电流差动保护方法，但多 Agent 技术本身及其在继电保护中的应用目前仍处于理论研究阶段。文献[8]利用故障电流综合幅值比较确定故障方向，基于通信系统，利于多点信息完成故障区域定位；文献[9]利用故障线路一端的故障电流正序分量超前于负荷电流，另一端的故障电流正序分量滞后于负荷电流这一原理，在故障区域定位的基础上实现了故障的区段定位；文献[10]将最大故障特征信息量准则理论应用到配电网的保护中，提出了含 DG 的配电网保护容错算法。上述方法没有电压量参与，在现有无 PT 的中低压配电网中实用性强，但在故障线路空载或轻载时，区段定位困难。

本文在上述研究的基础上，考虑配电网的实际，提出一种新的区域保护方案。方案分为故障的一次定位和二次定位两步实现。一次定位利用母线处的 Bus-IED 信息，可靠性更高；二次定位利用相应开关动作后 A 类 IED 或 B 类 IED 感受到的电流突变量信息实现，算法简单，速动性好，且不受负荷电流的影响。

1 区域保护方案网络架构

广域保护研究主要针对输电网的后备保护以及系统的稳定控制。随着通信技术的发展和配电自动化的应用，广域保护的理念同样适用于配电网^[11]。在配电网中一般将一个独立的供电区域作为一个完

整的保护对象来对待，且一个供电区域覆盖范围较小，涉及站点不会太多，基于通信技术的保护系统实现相对容易。

本文将广域保护的理念引入配电网，以变电站中压母线（10 kV）为边界，以母线上所有馈线覆盖的区域构建基于通信技术的区域保护。区域保护可以与配电网自动化系统共享现场装置与通信系统，降低保护投资。

广域保护信息处理量大，理论上任意 IED 都可以获得网络中其他所有 IED 的信息。但事实上，大量的信息传输会给通信系统造成极大的负担，同时保护原理越复杂，可靠性和速动性也就越低。本文所提区域保护方案将配电网进行自适应区域划分，只需要相关区域内少数几个 IED 的信息即可，提高保护的速动性和可靠性（具体方法下文详述）。

现有配电网只在每一馈线段始端装设断路器或负荷开关，由于 DG 的接入，为了隔离故障而在所有馈线段末端都增设断路器的保护方案是运行单位所不能接受的。本文所提方案只在 DG 上游最末一条馈线段末端增设断路器，最大限度减少设备投资。配电网区域保护网络架构示例如图 1 所示。

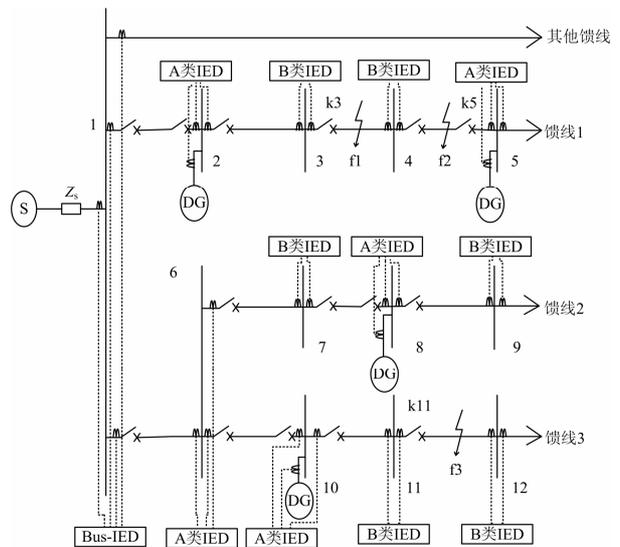


图 1 配电网区域保护网络架构

Fig. 1 Frame of regional protection in distribution network

变电所 10 kV 中压母线都装有 PT，Bus-IED 采集母线电压及母线上所有馈线的电流，故障时可以完成故障馈线选择（具体方法下文提及）。

A 类 IED 安装在三分支节点及多分支节点处，如图 1 节点 2、5、8 等。由于各馈线阻抗角相差不大，所以故障时故障方向故障电流最大^[8,12]，不需要电压量就可以判断故障方向。

B 类 IED 安装在二分支节点处, 如图 1 节点 3、4、7 等。故障时流入节点和流出节点的故障电流相同, 无法直接判断故障方向。

2 区域划分方案

将配电网进行区域划分, 以 Bus-IED 与相邻 A 类 IED 间、两个相邻 A 类 IED 间或边缘 A 类 IED 及下游全部节点为一个区域, 故障时迅速锁定在某一区域内, 完成一次定位, 然后仅利用该区域内 IED 信息, 完成故障二次定位, 将故障锁定在馈线段。

2.1 网络描述向量

本方案中以一条馈线对应一个一维向量, 描述馈线的拓扑结构。以母线为节点, 形成一个 $1 \times m$ 的行向量, 即 $a_i = [a_{i1} \ a_{i2} \ a_{i3} \ \dots \ a_{im}]$, 其中 a_i 表示第 i 条馈线, $a_{ij}=1$ 表示第 i 条馈线第 j 个节点为三分支或多分支节点, $a_{ij}=0$ 表示第 i 条馈线第 j 个节点为二分支节点。由上述分析, 当 DG 投退时将改变节点的性质: DG 退出节点由 A 类 IED 变为 B 类 IED; DG 投入节点由 B 类 IED 变为 A 类 IED。基于此, 给出网络描述向量自适应调整方法: 当 DG 退出, 且分支数 < 3 , a_{ij} 由 1 变为 0; 当 DG 投入, a_{ij} 由 0 变为 1。预先设定临界值, 当 DG 出力大于临界值时, 判断 DG 投入; 当 DG 出力小于临界值时, 判断 DG 退出。

2.2 自适应区域划分方法

将网络进行自适应区域划分, 可以利用最少的 IED 信息迅速锁定故障区域, 减少无关信息对保护判断的影响, 提高保护可靠性和速动性。同时, 也可以降低对通信系统的要求。区域划分方法如下:

(1) 假设网络中有 n 条馈线。首先形成网络描述向量。网络描述向量随着 DG 出力情况实时变化, 区域划分结果也将自适应调整以适应网络拓扑结构的改变。

(2) 从 a_{i1} 开始路径搜索, 观察 a_{ij} 的值, 若 $a_{ij}=0$, 令 $j=j+1$, 重新执行步骤 (2); 若 $a_{ij}=1$, 记录搜索路径, 由各元素对应的节点组成的节点集为一个区域。若 $j < m$, 转到步骤 (3); 若 $j = m$, 转到步骤 (4)。

(3) 从 a_{ij} 开始继续搜索, 观察 a_{ij} 的值, 若 $a_{ij}=0$ 且 $j < m$, 则令 $j=j+1$, 重新执行步骤 (3); 若 $a_{ij}=0$ 且 $j = m$, a_{ij} 为边缘节点, 记录搜索路径, 各元素对应节点组成的节点集为以边缘 A 类 IED 为首节点的区域, 转到步骤 (4); 若 $a_{ij}=1$, 记录搜索路径, 由各元素对应的节点组成的节点集为下一个区域, 若

$j < m$ 重新执行步骤 (3), 若 $j = m$ 转到步骤 (4)。

(4) 令 $i=i+1$, 若 $i \leq n$, 转到步骤 (2), 否则程序结束。

按上述方法对图 1 网络进行划分, 结果见表 1。

表 1 区域划分结果

Table 1 Region division results

区域号	1	2	3	4	5	6	7
区域范围	1-2	2-3-4-5	1-6	6-7-8	8-9	6-10	10-11-12

3 保护算法实现

本文保护方案分为一次定位和二次定位两步实现。第一步, 故障一次定位, 即从上文划分的区域中锁定故障区域; 第二步, 故障二次定位, 即将故障锁定在区域中的具体馈线段。

3.1 故障一次定位

经电力电子设备与电网并联是未来 DG 大量接入配电网时 DG 并网的主要形式。即使像风力发电机、微型燃气轮机旋转电机型 DG 也是通过先整流后逆变的控制环节再并入配电网。DG 并网时采用 PQ 控制方式, 此时 DG 可以等效为一个电流源。故障时 DG 接入点的电压降低, DG 注入的电流增大。假设故障前 DG 注入的电流是 \dot{I}_{DG} , 由于故障后 DG 注入的电流增大, 相当于在故障的附加状态下 DG 连接处出现了一个值为 $\Delta \dot{I}_{DG}$ 的电流源^[6],

$\Delta \dot{I}_{DG} = \dot{I}_{FDG} - \dot{I}_{DG}$, 其中 \dot{I}_{FDG} 是故障后 DG 输出的电流。

以图 1 所示网络为例, 假设在馈线 k 上 F_k 点发生三相短路, 故障附加状态如图 2 所示。

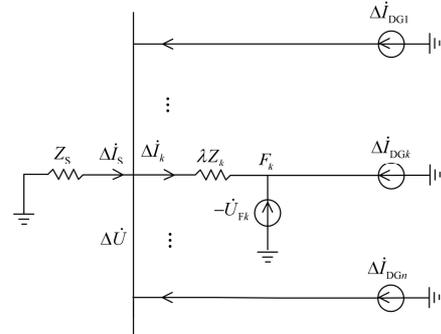


图 2 故障附加状态

Fig. 2 Fault additional state

图 2 中: Z_s 是系统阻抗; Z_k 是馈线 k 的线路阻抗;

λ 是比例系数且 $0 < \lambda \leq 1$; $\Delta \dot{I}_S$ 为系统侧电流正序故障分量; $\Delta \dot{I}_{DG_i}$ 是各支路的等效综合附加电流源流入母线分量的正序分量; $\Delta \dot{U}$ 是母线电压正序故障分量; $-\dot{U}_{Fk}$ 是故障点的正序故障分量电压, 则有

$$\Delta \dot{I}_k = \Delta \dot{I}_S + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \Delta \dot{I}_{DG_i} \quad (1)$$

$$\Delta \dot{I}_S = \frac{-\Delta \dot{U}}{Z_S} \quad (2)$$

配电网中系统和线路阻抗呈电感性, 阻抗角相差小于 90° , $\Delta I_k > \Delta I_S$ 且 $\Delta I_k > \Delta I_{DG_i} (i \neq k)$ ^[8]。根据此原理可以完成故障馈线选择。

但由图 2 所示, 当 λ 较大, 即故障位于馈线末端时, 由于系统阻抗 Z_S 和馈线阻抗 Z_k 相比较小, 变电所母线 (图 1 中母线 1) 压降很小, 如果此时其他馈线的 DG 出力较小, 则 $\Delta I_{DG_i} (i \neq k) \ll \Delta I_S$, $\Delta I_S \approx \Delta I_k$, 上述故障馈线选择方法失效。但此时仍满足判据 (1): $\Delta I_k > \Delta I_{DG_i} (i \neq k)$ 。由于故障时 Bus-IED 利用母线电压和系统侧电流通过功率方向判别原理^[13]可以判断故障发生在母线上游的系统侧还是母线下游的馈线侧, 所以改进的故障馈线选择流程如图 3。

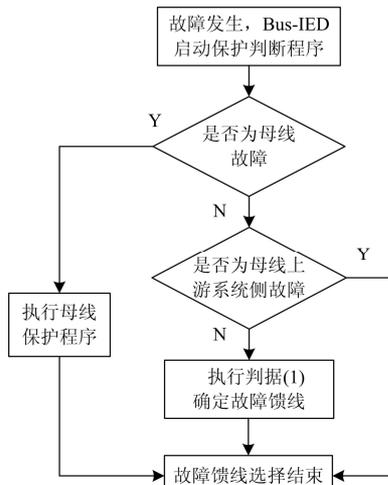


图 3 母线 IED 故障馈线选择流程

Fig. 3 Fault feeder selection flowchart of bus-IED

上述故障馈线选择方法利用电流、电压的正序故障分量, 所以对于两相短路故障同样适用。

规定从系统电源往线路末端的方向为正方向。

故障时 Bus-IED 确定故障馈线后, 向相应馈线的 A 类 IED、B 类 IED 发送允许信号。A 类 IED 判断故障位于自身下游, 则向下游相邻 A 类 IED 发送允许信号。母线 6 处下游有两条馈线, 下游故障时, 其 A 类 IED 向故障馈线相邻 A 类 IED 发送允许信号。A 类 IED 同时满足判别条件:

- (1) 收到 Bus-IED 的允许信号;
- (2) 收到上游相邻 A 类 IED 的允许信号;
- (3) 确定故障位于自身上游;

则跳开自身上游最末馈线段的末端断路器, 完成故障一次定位。以图 1 为例, 馈线 1 上 f1 点处发生故障, 母线 5 处 A 类 IED 收到 Bus-IED 的允许信号, 收到母线 2 处上游相邻 A 类 IED 的允许信号且确定故障位于自身上游, 则跳开自身上游最末馈线段末端断路器 k5 完成故障一次定位。

3.2 故障二次定位

规定从系统电源往线路末端的方向为正方向。以图 1 中馈线 1 上 f1 处故障为例, 母线 5 处 A 类 IED 动作跳开断路器 k5, 完成故障一次定位。此时故障馈线段 34 末端故障相电流突变, 两相短路幅值显著减小, 三相短路幅值接近于零; 若故障发生在 A 类 IED 上游最末一条馈线段, 如 f2 处, 无论任何故障, k5 跳开后, 故障馈线段 45 末端故障相电流幅值都将突变至接近于零。而故障馈线段故障相始端电流在 k5 动作后保持不变, 当区域内末端 DG 渗透率较高时, 故障馈线段始端故障相电流可能略有增加。利用这个特点可以完成故障二次定位。故障相电流突变量定值实时整定, 值为 $0.1 \sim 0.5 I_f$, I_f 为故障相短路时的故障电流, 比例系数预先设置, 保证任何故障情况下都能满足保护可靠性和灵敏性的要求。

A 类 IED 动作后, 向区域内上游 IED 发送动作信号, IED 收到动作信号且同时感受到馈线段末端电流负向突变量大于实时故障相电流突变量定值则向区域内上游相邻 IED 发送允许信号, IED 同时满足以下判别条件:

- (1) 收到区域末端 A 类 IED 动作信号;
- (2) 收到区域内下游 IED 允许信号;
- (3) 馈线段始端故障相电流负向突变量不大于实时故障相电流突变量定值。

则跳开馈线段始端断路器, 完成故障二次定位, 可靠隔离故障。如 f1 处故障时, k5 跳开, 此时母线 3 处 B 类 IED 满足判别条件, k3 断开, 隔离故障。

毫无疑问, 此时扩大了停电范围, 母线 4 及馈线段 45 失电。但应考虑到 DG 容量有限, 一般与当

地负荷匹配, 保证因外部故障而孤岛运行时 DG 附近负荷仍能持续供电。如果在 f1 故障时只切除故障馈线段 34, 虽然可以保证停电范围最小, 但不仅需要在馈线段 34 末端增加断路器, 更为重要的是母线 4 的负荷将全部由 DG 承担, 超过 DG 的负载能力, 容易造成更大范围的负荷失电, 影响故障恢复时间。所以当 f1 故障时, k5 首先跳开, 不仅可以保证孤岛运行时 DG 附近负荷持续供电, 而且与每一馈线段末端都增加断路器的方案相比^[10,12], 可以减少设备投资, 具有较好的可靠性和可行性。

节点 10 为边缘三支节点, 所以需要对其下游 IED 的判别条件做适当修改。当节点 10 处 IED 判断故障位于其下游时, 向下游 IED 发送允许信号。IED 收到允许信号且感受到馈线段末端电流负向突变量大于故障相电流突变量定值 (故障相电流突变量定值实时整定, 值为 $0.1 \sim 0.5I_f$, I_f 为故障前负荷电流), 则向上游相邻 IED 发送允许信号, IED 满足以下条件:

- (1) 收到 Bus-IED 的允许信号;
- (2) 收到区域始端 A 类 IED 允许信号;
- (3) 收到区域内下游相邻 B 类 IED 允许信号;
- (4) 馈线段始端电流负向突变量不大于实时故障相电流突变量定值。

则跳开馈线段始端断路器, 隔离故障。如馈线 3 上 f3 处故障时, 母线 11 处 IED 满足条件, 断路器 k11 跳开, 隔离故障。由上述分析可知, 当故障位于边缘三支或多分支节点的下游时, 只需断路器动作一次即可完成故障隔离。

3.3 保护算法说明

3.3 保护算法说明

(1) 网络描述向量的形成简单, 直观性好, 占用存储空间小; 自适应区域划分算法简单, 实现方便, 适应性强。

(2) 故障一次定位利用 Bus-IED 的信息, 保护理论成熟, 可靠性高; 一次定位所需 IED 信息少, 原理简单, 因此具有良好的容错性及速动性。

(3) 故障二次定位不受负荷电流的影响, 适应性强。虽然二次定位需要相应开关动作后才能实现, 因此有一定的延时, 但配电网继电保护对速动性的要求没有输电网高, 短暂的延时完全可以满足要求。

(4) 保护算法在一定程度上扩大了停电范围, 但可以保证因外部故障而孤岛运行时 DG 附近负荷持续供电, 避免因功率不匹配而造成更大范围的负荷失电, 缩短故障恢复时间。

(5) IED 间相互通信的都是开关量, 对通信系

统的传输能力要求低, 但准确性要求高。

(6) 本文研究的故障仅限于馈线上的两相短路和三相短路。中低压配电网是中性点不接地系统, 发生单相接地故障时仍可运行 $1 \sim 2$ h, 在此期间运行人员可以查找接地点, 采取相应措施, 所以不属于本文研究范围。

4 仿真实证

本文以天津某 10 kV 配电网为基础, 基于 PSCAD/EMTDC 软件搭建含多 DG 的配电网仿真模型, 如图 4 所示。配电网基准容量 500 MVA, 基准电压 10.5 kV; 系统最大运行方式下阻抗 $x_{\min} = 0.091 \Omega$, 最小运行方式下阻抗 $x_{\max} = 0.126 \Omega$; 线路 AB、AD、DE、AG、GH 为架空线 (LGJ-120/25 钢芯铝绞线), 参数为 $r = 0.27 \Omega/\text{km}$, $x = 0.347 \Omega/\text{km}$, 长度为 4 km、2 km、2 km、2 km、4 km; 线路 BC、EF、HI 为地下电缆 (YJLV22-150/60 铜芯交联聚氯乙烯电缆), 参数为 $r = 0.259 \Omega/\text{km}$, $x = 0.093 \Omega/\text{km}$, 长度为 6 km、7 km、5 km; 在每个节点处接入额定容量为 6 MVA、额定功率因数为 0.85 的负荷; DG 额定容量 10 MVA, 以 PQ 控制方式接入母线 B、E、H。

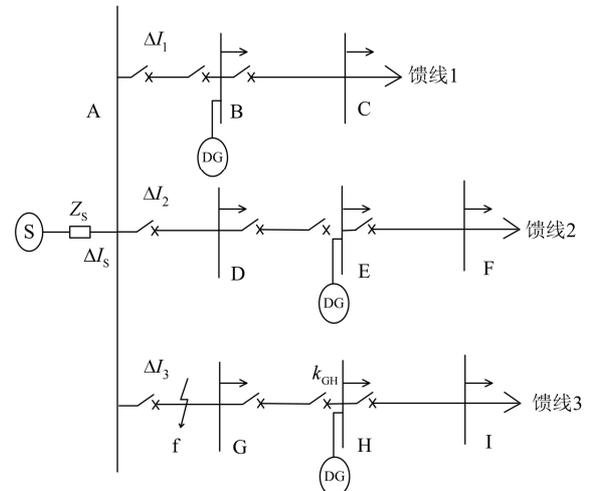


图 4 含多 DG 的 10 kV 配电网系统

Fig. 4 A 10 kV distribution system with DGs

4.1 故障一次定位故障馈线选择方法仿真

在系统最大运行方式下, 选取 AG 为故障馈线段, 在馈线段 20%、50%、80%处设置短路点, 观察在 DG 不同出力下, 三相短路和两相短路时各馈线的故障电流正序分量, 仿真数据见表 2。

从表 2 中可以看出, 随着 DG 出力的减小及 λ 的增大, 故障时相邻馈线 DG 提供的故障电流逐步

减小。当 DG 出力为 5 MVA，AG 末端发生两相短路时， $\Delta I_S \approx \Delta I_3$ ，无法单独通过比较故障电流来确定故障馈线，但此时仍满足 $\Delta I_3 > \Delta I_1$ ， $\Delta I_3 > \Delta I_2$ ，从而证明本文所提的故障馈线选择方法的正确性。

表 2 AG 馈线段故障时各馈线故障电流正序分量有效值

Table 2 Fault current positive-sequence component RMS values of each feeder when short-circuit occur in AG line

DG	类型	三相短路/A			两相短路/A		
	λ	0.2	0.5	0.8	0.2	0.5	0.8
10 MVA	ΔI_S	22 683	11 005	7 154	11 280	5 446	3 521
	ΔI_1	356	158	100	162	76	49
	ΔI_2	444	202	129	207	98	63
	ΔI_3	23 117	11 214	7 290	11 482	5 547	3 586
8 MVA	ΔI_S	22 660	10 965	7 109	11 272	5 432	3 504
	ΔI_1	330	147	93	151	71	45
	ΔI_2	420	191	122	196	92	59
	ΔI_3	23 068	11 161	7 235	11 462	5 526	3 565
5 MVA	ΔI_S	22 628	10 904	7 038	11 261	5 411	3 480
	ΔI_1	285	128	81	132	62	40
	ΔI_2	375	172	109	177	84	54
	ΔI_3	22 990	11 076	7 140	11 432	5 495	3 534

4.2 故障二次定位方法仿真

系统最大运行方式下，选取 AG 为故障馈线段，在馈线段 20%、50%、80%处设置短路点，AG 在 1 s 时发生 BC 相间短路，1.1 s 时区域内末端断路器 k_{GH} 断开。故障相电流突变量定值整定为 $0.5I_f$ ， I_f 是故障相短路时的故障电流。表 3、表 4 是母线 H 处 DG 不同出力下 k_{GH} 断开前后，故障馈线段 AG 始端 B 相电流和 AG 末端 B 相电流的仿真数据。

表 3 故障馈线段始端 B 相电流有效值

Table 3 B-phase current RMS values at the beginning terminal of fault branch

DG	λ	故障电流/A	突变量定值/A	负向突变量/A
10 MVA	0.2	20 231	10 115.5	-728
	0.5	9 945	4 972.5	-195
	0.8	6 543	3 271.5	-191
5 MVA	0.2	20 353	10 176.5	-132
	0.5	10 056	5 028	-124
	0.8	6 657	3 428.5	-119
2 MVA	0.2	20 444	10 222	-107
	0.5	10 142	5 071	-83
	0.8	6 742	3 371	-76

表 4 故障馈线段末端 B 相电流有效值

Table 4 B-phase current RMS values at the end terminal of fault branch

DG	λ	故障电流/A	突变量定值/A	负向突变量/A
10 MVA	0.2	720	360	712
	0.5	789	394.5	748
	0.8	819	409.5	778
5 MVA	0.2	544	272	462
	0.5	556	278	475
	0.8	572	286	491
2 MVA	0.2	428	214	297
	0.5	430	215	300
	0.8	439	219.5	306

从表 3、表 4 看出，在不同故障状况下， k_{GH} 断开前后，故障馈线段始端电流略有增大，而故障馈线段末端电流则显著减小，且负向突变量大于突变量定值，从而证明故障二次定位方法的正确性。

5 结论

本文在考虑现有配电网结构及并网 DG 特点的基础上，提出了基于通信技术的含多 DG 配电网区域保护新方案。描述了区域保护的网路结构和单元功能，以此为基础完整阐述了保护流程，最后通过数字仿真验证了其正确性。该方法区域划分算法简单，实现方便，直观性好，适应性强。故障定位利用母线处 Bus-IED 信息，可靠性高；不受负荷电流、DG 位置及容量和故障类型的影响，适应性强；不需要在每一馈线段末端增加断路器，节省设备投资。综上所述，该保护方案可以作为主保护应用于自动化程度较高的含多 DG 的配电网。

参考文献

- [1] JENKINS N, ALLAN R, CROSSLEY P, et al. Embedded generation[C] // London, UK: Institution of Electrical Engineers, 2000.
- [2] GIRGIS A, BRAHMA S. Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system[C] // Proceedings of 2001 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, Halifax, Canada, July 26-28, 2002: 115-119.
- [3] 王江海, 邵能灵, 宋凯, 等. 考虑继电保护动作的分布式电源在配网中的准入容量研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(22): 37-43.
WANG Jiang-hai, TAI Neng-ling, SONG Kai, et al. Penetration level permission of for DG in distributed

- network considering relay protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 37-43.
- [4] 余琼, 余胜, 李晓晖. 含分布式电源的配网自适应保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 110-115.
YU Qiong, YU Sheng, LI Xiao-hui. An adaptive protection scheme for meshed distribution system with DG[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 110-115.
- [5] 马静, 王希, 米超, 等. 含分布式电源的配电网自适应保护新方法[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 204-208.
MA Jing, WANG Xi, MI Chao, et al. A new adaptive protection approach for distribution network containing distributed generation[J]. Power System Technology, 2011, 35(10): 204-208.
- [6] 孙景钊, 李永丽, 李盛伟, 等. 含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 71-76.
SUN Jing-liao, LI Yong-li, LI Sheng-wei, et al. An adaptive instantaneous protection scheme for distribution system with IIDG[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(14): 71-76.
- [7] 庞清乐, 高厚磊, 杜强, 等. 面向智能配电网的保护与控制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 28-32.
PANG Qing-le, GAO Hou-lei, DU Qiang, et al. Protection and control method for smart distribution grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 28-32.
- [8] 林霞, 陆于平, 王联合. 分布式发电条件下的多电源故障区域定位新方法[J]. 电工技术学报, 2008, 23(11): 139-145.
LIN Xia, LU Yu-ping, WANG Lian-he. New fault region location scheme in distribution system with DGs[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(11): 139-145.
- [9] 林霞, 陆于平, 王联合. 分布式发电条件下的新型电流保护方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(20): 50-56.
LIN Xia, LU Yu-ping, WANG Lian-he. New current protection scheme considering distributed generation impact[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(20): 50-56.
- [10] 张翔, 卫志农. 含分布式电源的配电网广域保护容错算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(5): 59-64.
ZHANG Xiang, WEI Zhi-nong. Wide area protection algorithm with fault tolerance for distribution network including DG[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(5): 59-64.
- [11] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 配电网保护新技术[J]. 供用电, 2012, 29(6): 15-25.
XU Bing-yin, LI Tian-you, XUE Yong-duan. New developments of distribution protection technology[J]. Distribution & Utilization, 2012, 29(6): 15-25.
- [12] 唐斐, 陆于平. 分布式发电系统故障定位新算法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 62-68.
TANG Fei, LU Yu-ping. A new fault location algorithm for distributed generation system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 62-68.
- [13] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
-
- 收稿日期: 2013-08-01; 修回日期: 2013-10-10
作者简介:
肖伟栋 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为配电网继电保护; E-mail: xwd19871119@163.com
夏明超 (1976-), 男, 通信作者, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统综合自动化, 电力系统继电保护, 电气设备在线监测与诊断, 智能配电;
唐念 (1991-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为分布式发电技术。