

DOI: 10.7667/PSPC161314

含高渗透率 DG 的配电网实用化保护方案

贺敏¹, 徐光福², 伊洋³, 余群兵², 朱皓斌²

(1. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 211106; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;
3. 广州供电局有限公司, 广东 广州 510620)

摘要: 分析了高渗透率 DG 接入配网对传统三段式过流保护的影响。为了解决三段式过流保护可能存在的误动、拒动问题, 提出了一种含高渗透率 DG 的配电网实用化保护方案并给出了保护配置及整定原则。该保护方案基于重合闸前加速保护、防孤岛保护和合于故障保护之间的时序配合, 不依赖于通信且无需装设大量 PT, 保护定值整定按照常规配网无 DG 接入条件下整定, 不受 DG 接入的数量、容量和位置影响。RTDS 仿真结果表明, 所提出的保护方案实用、有效, 能够在含高渗透率 DG 接入环境下准确隔离配网故障。

关键词: 高渗透率 DG; 前加速保护; 合于故障保护; 防孤岛保护; 时序配合

A practical protection scheme for distribution network with high penetration of DG

HE Min¹, XU Guangfu², YI Yang³, YU Qunbing², ZHU Haobin²

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106, China; 2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;
3. Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: The influence of high permeability DG access to distribution network on the traditional three stage over-current protection is analyzed. A practical protection scheme for distribution network with high penetration of DG is proposed to solve the problem of the possible mal-operation of the three stage over-current protection, and also the protection configuration and setting principle are proposed. The protection scheme is based on sequential coordination between instant accelerate protection, anti-islanding protection and switch onto fault protection, having no dependence on communication and a large number of PTs, and the settings are set according to the conventional distribution network without DG access, which are not affected by the number, capacity and position of DG access. RTDS simulation result shows that the protection scheme is practical and effective and it can isolate the distribution network fault accurately within high permeability DG.

Key words: high penetration of DG; instant accelerated protection; switch onto fault protection; anti-island protection; sequential coordination

0 引言

高渗透率的分布式电源(DG)接入配电网, 改变了传统配电网辐射性无源网络结构, 使短路电流大小及流向发生了变化, 给保护之间协调配合带来了巨大影响^[1-3]。

为了克服 DG 接入给配网保护带来的不利影响, 常用的解决方法是当配电网发生故障时, 首先切除区域内全部 DG, 这样配网网络可以恢复到原来的辐射状, 保证原有的保护能够正常动作^[4]。该方法不改变现有配网的保护配置, 基本不增加电网

侧继电保护改造的投资费用, 但在高渗透率 DG 接入的条件下, 故障期间大量 DG 脱网, 不仅限制了 DG 在配电网故障情况下给予系统电压支撑的积极作用, 还将进一步加剧电网的功率失衡, 危及电网的稳定运行; 此外, 这种无选择性大面积地切除 DG, 损害了 DG 发电商的利益。

为了尽可能保证保护正确动作且不以牺牲 DG 为代价, 国内外学者作了大量的研究, 解决方法归结起来主要分为两大类:

1) 基于通信采用多点信息综合判断。如文献[5]提出了一种自适应保护方案, 馈线保护终端预先设置多组定值区, 每组定值区对应一种运行方式, 通过中央控制器接收各DG的并网状态, 自动识别运行

方式并下发对应的定值区号至馈线保护终端, 从而实现保护定值随系统运行方式变化自动调整。文献[6]提出在馈线出口、分布式电源接入位置以及区域边界处装设断路器和高级馈线终端单元, 高级馈线终端单元之间通过光纤网络互联, 各高级馈线终端单元实时检测本地信息, 并与相邻的高级馈线终端单元进行信息交互。根据本地及临近的信息, 可快速定位故障区段, 实现故障的隔离及孤岛运行。文献[7]提出了一种基于通信技术的区域保护方案, 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。上述方案改变了现有配电网保护配置, 并且须增设光纤通信通道, 大大的增加了电网改造成本。

2) 基于本地信息判断。文献[8]提出了一种基于反时限过流保护和故障限流器相结合的保护方案, 该保护方案的关键是设置合理的故障限流器阻抗值确保反时限过流保护能够不受 DG 接入的影响, 在各种情况下准确动作。而该阻抗值与配电网参数、DG 参数以及 DG 位置有关, 对于含高渗透率 DG 的配电网, 确定每个 DG 串联的故障限流器阻抗十分困难。文献[9]通过对保护背侧网络进行等值变换, 提出一种能够自适应系统运行方式以及网络结构变化的保护新原理, 但该保护原理还仅限于理论研究且整定复杂, 离实用化还有一段距离。除此之外, 大量文献提出的保护方案均需要采集三相电压, 实际上配电网馈线除了在变电站侧母线上装设三相 PT, 馈线下游一般不装设 PT 或仅装设单相 PT, 因此馈线下游三相电压一般无法获取。如果进行大规模增设 PT 改造, 无疑将增加大量投资, 这对配电网来说是不切合实际的。

本文分析了高渗透率 DG 接入配电网对过流保护的影响, 立足配网现实条件, 从实用化角度出发, 提出了一种适用于含高渗透率 DG 的配电网保护方案, 该保护方案不以切除相邻线路大量的 DG 为代价、不依赖于通信且无需装设大量 PT。

1 高渗透率 DG 接入对过流保护的影响分析

1.1 高渗透率 DG 接入对过流保护安装处的电流影响

按照 DG 与配电网的接口方式不同, DG 可分为变流器类 DG 和电机类 DG, 文献[10]总结了两种类型 DG 的短路电流特性, 一般情况下电机类 DG 可等效为电压源和阻抗的串联, 变流器类 DG 可等效为电流源。配网发生故障时, 不管哪种类型的 DG 均提供或大或小的电流, 本文为了便于分析高渗透率 DG 接入对电流保护影响的一般规律, 应用电路“替代原理”, 将短路时刻的 DG 均等效为电流源。

如图 1 所示, 线路 L1 的 A 和 B 处设有过流保护, 假设在靠近 B 保护的上游 F 处发生三相短路故障。根据 DG 相对保护安装点和故障点 F 的接入位置划分为三个区域: 区域 I 内的 DG 位于 A 保护的上游(靠近电网侧), 区域 II 内的 DG 位于 A 保护与故障点 F 之间, 区域 III 内的 DG 位于 B 保护下游。根据电路“叠加定理”, 图 1(a)可等效分解为图 1(b), 图中 Z_s 为电网系统阻抗, Z_l 为保护安装处至故障点的线路阻抗, αZ_l 为保护安装处至区域 II 内的 DG 等效阻抗, I_1 为故障时区域 I 内的 DG 等效电流, I_{II} 为故障时区域 II 内的 DG 等效电流, I_{III} 为故障时区域 III 内的 DG 等效电流, I_s 为电网侧提供的故障电流, I_p 为区域 I 内的 DG 流过 A 保护的正向电流, I_n 为区域 II 内的 DG 流过 A 保护的反向电流。

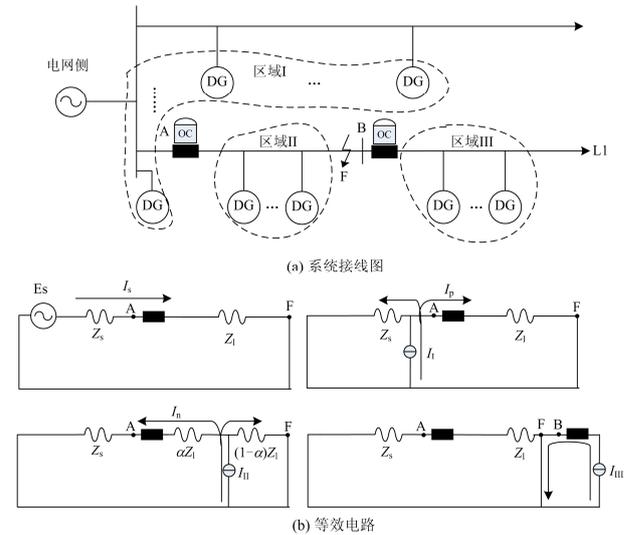


图 1 含高渗透率 DG 的配网线路故障分析

Fig. 1 Analysis of fault in distribution network with high penetration of DG

流过 A 处保护装置的电流为

$$I_{RLYA} = I_s + I_p - I_n \quad (1)$$

流过 B 处保护装置的电流为

$$I_{RLYB} = I_{III} \quad (2)$$

式(1)表明: 保护下游故障时, 保护上游 DG 对保护电流具有助增作用; 保护下游与故障点上游之间的 DG 对保护电流具有削弱作用; 故障点下游 DG 对流过保护电流没有影响。

式(2)表明: 保护上游故障时, 保护下游 DG 流过保护反向电流; 保护上游 DG 对流过保护的电流没有影响。

1.2 高渗透率 DG 接入对三段式过流保护的影响

式(1)、式(2)中, I_p 、 I_n 、 I_{III} 的大小与相应区

域 DG 的类型、容量、数量以及位置有关^[1,11-12]，高渗透率 DG 接入的配电网，在多个 DG 的合力作用下， I_p 、 I_n 、 I_{III} 的大小可能与 I_s 处于同一量级。式(1)中，若 $I_p > I_n$ ，则 DG 的接入整体对保护电流表现出助增作用，提高了过流保护的灵敏度，扩大了保护范围；反之，若 $I_p < I_n$ ，DG 的接入整体对保护电流表现出削弱作用，降低了过流保护的灵敏度，缩小了保护范围。

1) 对过流 I 段(速断)的影响

过流 I 段电流定值一般按照躲过本段线路末端最大短路电流整定，通常保护范围为本段线路的 30%~80%，时限通常取 0 s，无须与其他保护时限配合。

若 DG 的接入对保护电流表现为助增作用，由于与下级保护没有时限配合，因此容易发生越级跳闸。相反，若表现为削弱作用，则进一步缩小了保护范围，极端情况下，过流 I 段全线没有灵敏度。

2) 对过流 II 段(限时速断)的影响

过流 II 段电流定值一般按照线路末端故障有灵敏度并与下级线路的过流 I 段保护配合的方法整定，保护本段线路全长，时限通常取 0.3~0.5 s。

由于过流 II 段与下级过流 I 段在电流定值和时限上均有配合，若 DG 的接入整体表现为助增作用，过流 II 段也不会先于下级过流 I 段动作，因此不会发生越级跳闸；若 DG 表现为削弱作用，缩小了过流 II 段保护范围，当本级线路末端发生故障时，过流 II 段可能拒动。

3) 对过流 III 段的影响

过流 III 段保护电流定值一般按照躲过最大负荷电流整定，动作时限与下级 III 段保护时限配合。

由于过流 III 段上下级保护采用逐级时限配合，因此 DG 助增作用不会引起过流 III 段保护越级跳闸；若 DG 表现为削弱作用，同样缩小了过流 III 段的保护范围，但相比过流 I 段和 II 段保护，由于过流 III 段灵敏度最高，因此受到 DG 削弱作用保护拒动的可能性也最小。

如式(2)所示，当电流 I_{III} 大于过流定值时，过流保护会反向误动，由于过流 III 段电流定值最小，所以误动的可能性也最大，一般需要增加方向元件闭锁。

2 含高渗透率DG的配电网实用化保护方案

本文从实用化角度，提出一种基于重合闸前加速保护、防孤岛保护(AIP)和合于故障保护(以下称 SOTF)之间时序配合的保护方案，旨在解决含高渗透率 DG 的配电网常规过流保护存在的误动、拒动问题。

2.1 保护配置及整定原则

图 2 为一典型辐射型不接地中压配网系统，为简洁起见，图中每段线路仅以一个 DG 接入作为示意(实际可能是多个 DG 接入)。在线路首端断路器(B1、B4)处配置重合闸前加速保护和 SOTF，在线路下游断路器(B2、B3、B5)配置 SOTF，DG 处配置防孤岛保护，其中 SOTF 只有在合闸时才被自动投入。

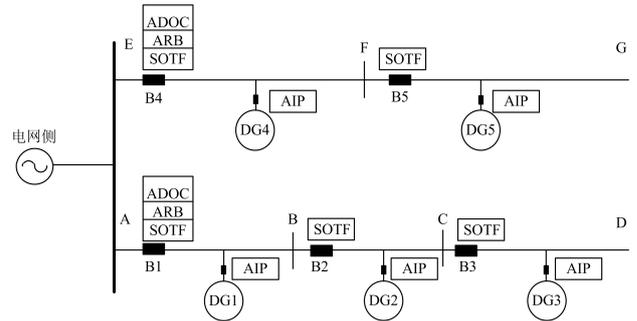


图 2 保护配置

Fig. 2 Protection scheme

重合闸前加速保护^[13]包含前加速方向过流保护(以下称 ADOC)和前加速重合闸(以下称 ARB)。ADOC 电流定值按照常规过流 III 段原则整定，从前文分析可知，III 段定值灵敏度高，受 DG 接入的影响较小，保证对全线故障都有灵敏度。ADOC 动作延时整定为 0~0.1 s，因此整条线路任一点发生故障，首先由 ADOC 快速跳开首端断路器从而隔离故障。考虑相邻线路故障，本线路接入的 DG 提供的反向故障电流可能会引起过流元件误动作，因此 ADOC 设置功率方向元件闭锁。由于 ADOC 仅配置在线路首端开关处，一般位于变电站(或开关站)内，母线 PT 是标准化设计，因此设置功率方向元件不会带来额外的增设 PT 费用。

当 ADOC 动作跳开首端断路器，整条线路处于非计划性孤岛状态，经短延时各 DG 防孤岛保护动作跳开 DG，然后 ARB 进行一次重合，若为瞬时性故障，则重合成功，线路继续运行；而一旦为永久性故障，再通过 SOTF 之间的配合，有选择性地切除故障，整个保护动作流程如图 3 所示。

防孤岛保护是为了阻止非计划性孤岛连续运行而设置的保护，根据国内外相关标准规定^[14-15]，当形成孤岛时，要求防孤岛保护动作时间不超过 2 s，本文所配置的防孤岛保护建立在此要求上。防孤岛保护常用的原理主要包括主动式、被动式和基于通信方式^[16-18]，非本文讨论重点，在此不再赘述，详细可参考相关文献。

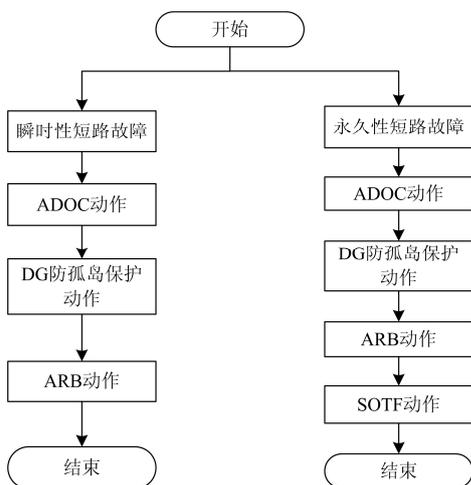


图3 保护动作流程图

Fig. 3 Flowchart for protection operation

SOTF 以过流保护为基本保护元件, 与常规过流保护不同的是, SOTF 在线路带电运行状态时是退出的, 仅在线路合闸充电时才短暂投入, 动作逻辑如图 4 所示, 当保护检测到从无流状态变为有流状态时, 短暂开放 SOTF 保护, 若电流超过定值时, 经延时跳闸。

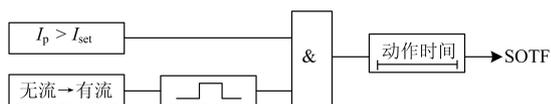


图4 合于故障保护(SOTF)逻辑图

Fig. 4 SOTF logic diagram

图中: I_p 为相电流; I_{set} 为 SOTF 电流定值。

为了保证首端 ARB 合于永久性故障时能够可靠有选择性地切除故障, SOTF 设置两段过流, 电流与时限定值与常规阶段式过流保护整定原则相同, 上下级保护遵循时限配合原则。由于 SOTF 在 ARB 动作后短暂投入, 而 ARB 动作前故障线路上所有 DG 均通过防孤岛保护跳闸退出, 因此 SOTF 感受到的故障电流不会受到本线路 DG 接入的影响, 而且故障电流单向流动, 无须增加方向元件闭锁。从前文分析可知, 虽然重合闸时非故障线路接入的 DG 仍然并网运行, 会助增保护电流, 提高了保护的灵敏度, 但由于 SOTF 采用上下级时限配合, 因此不会引起 SOTF 越级跳闸。

2.2 保护协调配合与性能分析

图 5 较直观地给出了保护配置和动作时限, B1、B4 ADOC 过流定值按照常规过流 III 段原则整定, 动作时间整定为 0 s, B1、B4 重合闸采用检线路侧无压合闸。B1、B2、B3、B4、B5 处的 SOTF 设置两段过流, SOTF I 段按照躲过本段线路配变低

压侧的最大短路电流来整定, 最末端时限整定为 0 s, 往上游按照 0.3 s 级差逐级配合; SOTF II 段按照躲过最大负荷电流来整定, 最末端时限整定为 0.3 s, 同样往上游按照 0.3 s 级差逐级配合。

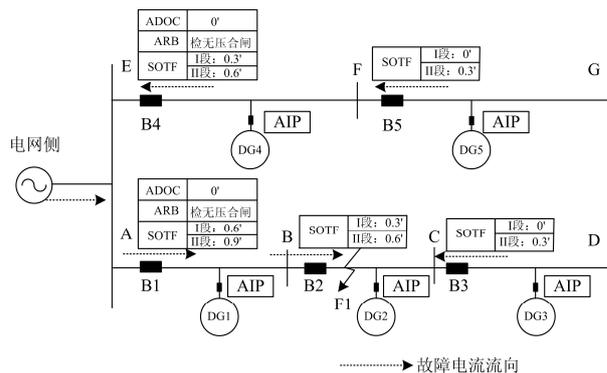


图5 保护配置及定值

Fig. 5 Protection scheme and settings

假设 BC 段 F1 处发生短路故障, 保护动作过程如下:

1) B1 ADOC 动作。F1 处发生短路故障时, 电网侧以及所有的 DG 往故障点提供故障电流。B4、B5 流过由 DG4、DG5 贡献的反向电流, 由于 B4 ADOC 采用方向元件闭锁, 因此反方向故障电流不会误动, 而 B4、B5 SOTF 仅在线路合闸充电时才投入, 因此此时 SOTF 处于闭锁状态, 不会发生误动; 同样, B3 也流过 DG3 贡献的反向故障电流, 由于 SOTF 处于闭锁状态, 也不会发生误动; B1、B2 流过正向故障电流, B1 处 ADOC 快速跳闸隔离故障。

2) DG1、DG2、DG3 防孤岛保护动作。B1 跳开后, 线路 AD 内 DG1、DG2、DG3 与负荷形成孤岛状态, 在小于 2 s 的时间内, DG1、DG2、DG3 各自防孤岛保护动作, 全部离网, 线路 AD 变成了无源网络。

3) B1 ARB 动作。DG1、DG2、DG3 全部离网后, B1 处 ARB 检测到线路侧无压进行重合。如果发生在 F1 处是瞬时性短路故障(合闸时故障已经消失), 重合成功恢复整条线路供电, 所有保护动作结束。

4) 永久性故障, B2 SOTF 动作。ARB 合 B1 时满足 SOTF 开放条件, B1、B2、B3 处的 SOTF 均开放, 如果是永久性故障, B1、B2 流过正向故障电流, 此时 B1 重合闸前加速保护已处于闭锁状态, 因此 ADOC 不会再次动作, B2 SOTF I 段经 0.3 s 延时跳闸(假如 I 段因灵敏度不足拒动, 则 II 段经 0.6 s 延时跳闸), 故障准确隔离, 所有保护动作结束。

以上过程保护动作时序如图 6 所示。

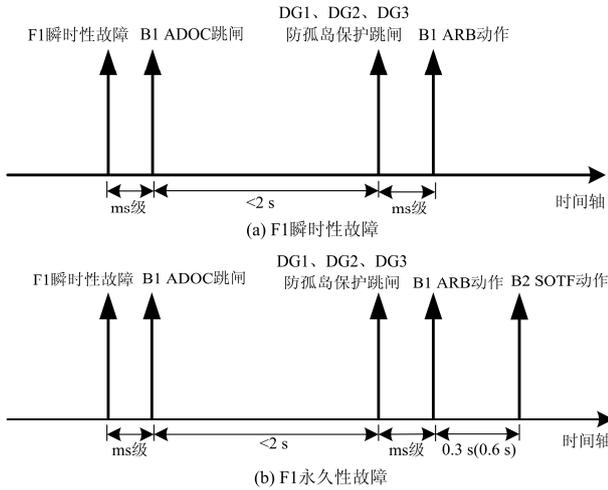


图 6 保护动作时序

Fig. 6 Protection operation timing

2.3 保护方案对比

表 1 为所提出的保护方案与常见的三种保护方案对比,把诸如光纤差动或需要多点信息综合判断的保护归纳为依赖通信的保护方案,把诸如方向过流或距离等保护归纳为依赖电压量的保护方案,这两类保护方案一般能够准确的隔离故障,不以牺牲 DG 为代价,选择性好,但是必须增设光纤通道或 PT,实施成本高,此外保护原理相对复杂,整定和运行维护困难;把故障时先切除区域内全部 DG 进而恢复到辐射状网络的这种做法归纳为故障解列方案,该保护方案原理简单,不改变原有保护配置,实施成本低,但是牺牲了大量 DG 的选择性;相比之下,本文提出的保护方案综合了上述三种方案的优点,以过流、重合闸为基本元件且定值整定不受 DG 接入影响,整定、运维简单,无需增设光纤通道或 PT,实施成本低,配网线路故障时仅切除故障线路 DG,不影响相邻线路 DG 的正常运行,因此在配电网现有条件下更具实用性。

表 1 保护方案对比

Table 1 Protection scheme comparison

保护方案	整定、运维	选择性	实施成本
依赖通信的保护方案	复杂	好	大面积铺设光纤,实施成本高、难度大
依赖电压量的保护方案	复杂	好	增设大量 PT,实施成本较高
故障解列方案	简单	故障线路及相邻线路大量 DG 脱网,选择性差	维持原有配网保护配置,无实施成本
本文保护方案	简单	仅故障线路 DG 脱网,选择性较好	仅需在原有配网保护装置上作简单的软件升级,实施成本低

3 RTDS 仿真验证

在自主研发的UAPC(Unified Advanced Platform)保护控制平台上,开发了包含ADOC、ARB、SOTF功能的保护装置和防孤岛保护装置,其中防孤岛保护采用常用的低/过电压原理。将图5拓扑结构搭建了RTDS仿真模型,系统侧短路容量为100 MVA,电压为10.5 kV,线路AB、BC、CD长度均为4 km,EF、FG段长度均为6 km,线路单位阻抗为 $0.131+j0.372 \Omega/\text{km}$,DG1—DG6分别为T接在各线路中间位置,DG1、DG4为电机类DG,容量分别为5 MVA和20 MVA,DG2、DG3、DG5为光伏发电,功率分别为3 MW、3 MW、20 MW,B、C、D各经配变接有3 MW的负荷,负荷功率因数为0.85,断路器分闸时间为80 ms。

B1、B2、B3 安装的保护装置定值如表 2 所示,DG1—DG6 安装的防孤岛保护装置低电压定值为 $0.85U_n$,动作延时 1.0 s。

表 2 B1、B2、B3 保护定值

Table 2 Settings of B1, B2 and B3 protection

元件	B1	B2	B3
ADOC	700 A, 0 s	—	—
ARB	检无压合闸	—	—
SOTF I 段	1900 A, 0.6 s	1300 A, 0.3 s	1000 A, 0 s
SOTF II 段	700A, 0.9 s	500A, 0.6 s	300 A, 0.3 s

1) 线路 BC 末端发生瞬时性三相相间短路故障

图 7 给出了整个故障过程中保护安装处的电压、电流以及开关位置。其中图 7(c)中,0 表示开关位置在合位,1 表示为分位。

$T=0.2 \text{ s}$ 时刻线路 BC 末端发生瞬时性短路故障(持续 0.5 s),如图 7(a),流过 B1、B2、B3 的故障电流分别约为 1431 A、1586 A、253 A,其中 B3 故障电流来源于 DG3 提供的反向电流。

$T=0.285 \text{ s}$ 时刻 B1 ADOC 跳闸,跳开 B1,如图 7(c)。

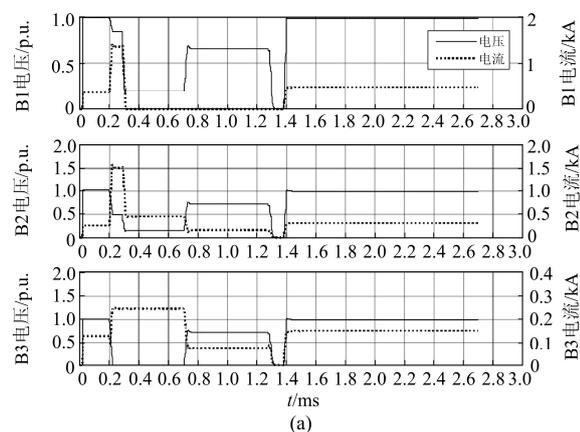
B1 跳开后,DG1—DG3 并网点电压均深度跌落, 0.7 s 时刻瞬时性故障消失,电压有所回升,但仍远低于额定值,如图 7(b)。 $T=1.29 \text{ s}$ 时刻 DG1—DG3 防孤岛保护相继跳闸,整条线路失压。

$T=1.382 \text{ s}$ 时刻 B1 ARB 重合开关,恢复线路供电。

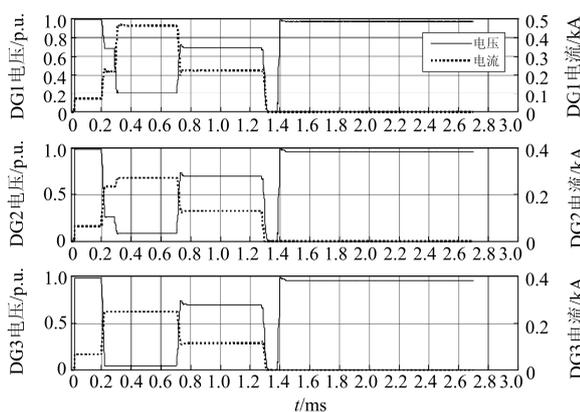
2) 线路 BC 末端发生永久性三相相间短路故障

$T=0.2 \text{ s}$ 时刻线路 BC 末端发生短路故障,流过 B1、B2、B3 的故障电流分别约为 1426 A、1570 A、251 A。

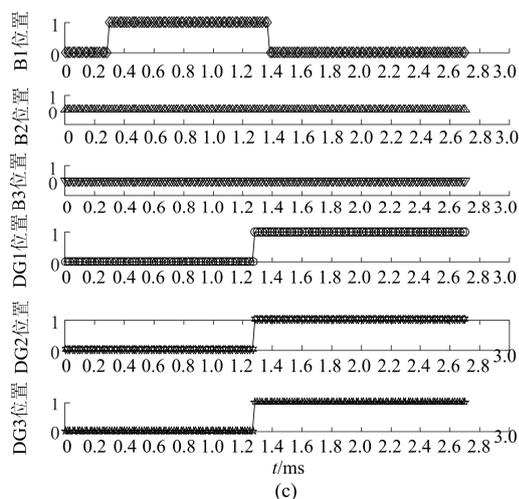
$T=0.292 \text{ s}$ 时刻 B1 ADOC 跳闸,B1 跳开后,DG1—DG3 并网点电压均深度跌落。



(a)



(b)



(c)

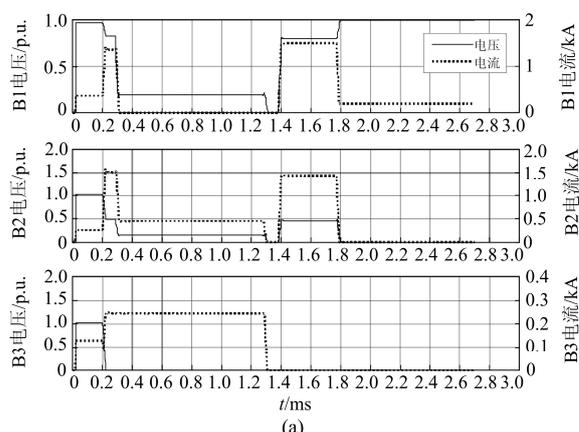
图7 线路BC段瞬时性故障

Fig. 7 Transient fault at line BC

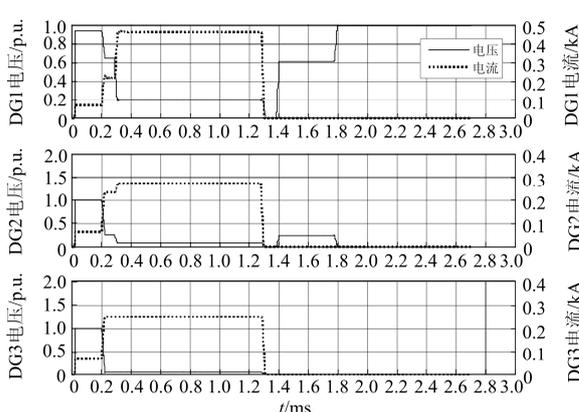
$T=1.28\text{ s}$ 时刻 DG1—DG3 防孤岛保护相继跳闸, 整条线路失压。

$T=1.381\text{ s}$ 时刻 B1 ARB 重合开关, 由于重合于故障, B1、B2 再次流过故障电流, 故障电流大小分别为 1538 A、1484 A。

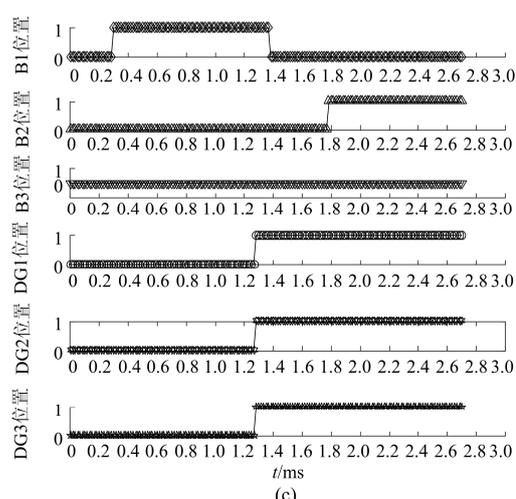
$T=1.771\text{ s}$ 时刻 B2 SOTF I 段跳闸, 整个保护动作过程结束。



(a)



(b)



(c)

图8 线路BC永久性故障

Fig. 8 Permanent fault at line BC

通过对线路 AB 段、BC 段、CD 段多个点分别设置故障进行验证, 结果表明所提出的保护方案均能正确动作, 限于篇幅, 不一一给出结果。

4 结语

本文详细地分析了高渗透率 DG 接入对配网常规三段式过流保护的影响, 并提出了一种基于重合

闸前加速保护、防孤岛保护和合于故障保护之间的时序配合的保护方案, 保护方案具有以下特点:

1) 无需保护之间传递信息, 不依赖于通信。

2) 线路下游保护无需设置方向元件, 不需要对现有配网进行增设 PT 的改造。

3) 保护定值整定按照常规配网无 DG 接入条件下整定, 不受 DG 接入的数量、容量和位置影响。

4) 配网线路故障时, 切除故障线路 DG, 不影响相邻线路 DG 的正常运行。

5) 不改变现有的配网保护配置, 只需要在原有保护装置上作简单的软件升级, 在配电网现有条件下具有良好的实用性。

通过 RTDS 仿真, 验证了本保护方案的正确性和有效性。

参考文献

[1] 周卫, 张尧, 夏成军, 等. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 1-5. ZHOU Wei, ZHANG Yao, XIA Chengjun, et al. Effect of distributed generation on relay protection of distributed system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 1-5.

[2] ROMANENS F, KUONEM G, SCOCA L. Impact of distributed generation on grid protection[C] // 21st International Conference on Electricity Distribution (CIRED). Frankfurt, 2011: 1-4.

[3] 张喜平, 梅柏杉. 分布式电源的高渗透率对配电网继电保护的影响[J]. 上海电力学院学报, 2012, 28(4): 325-328. ZHANG Xiping, MEI Baishan. Impact of the relay protection for distribution systems with high penetration of distributed generation[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2012, 28(4): 325-328.

[4] IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems: IEEE Std 1547.2—2008[S].

[5] ISHCENKO D, OUDALOV A, STOUPIS J. Protection coordination in active distribution grids with IEC 61850[C] // Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2012 IEEE PES: IEEE, 2012: 1-6.

[6] 唐志军, 邹贵彬, 高厚磊, 等. 含分布式电源的智能配电网保护控制方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 9-14. TANG Zhijun, ZOU Guibin, GAO Houlei, et al.

Protection and control scheme for smart distribution grid with distributed resource[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 9-14.

[7] 肖伟栋, 夏明超, 唐念. 考虑多 DG 接入的配电网区域保护新方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 103-109. XIAO Weidong, XIA Mingchao, TANG Nian. A new regional protection scheme for distribution network considering the introduction of multi-DGs[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 103-109.

[8] 付文秀, 范春菊, 杨炼, 等. 配电网中分布式电源的选址定容和电流保护策略[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(10): 78-84. FU Wenxiu, FAN Chunju, YANG Lian, et al. Locating and sizing of distributed generators and current protection strategy in distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(10): 78-84.

[9] 马静, 王希. 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. A new adaptive protection approach for distribution network containing distributed generation[J]. Power System Technology, 2011, 35(10): 204-208.

[10] 刘健, 张小庆, 同向前, 等. 含分布式电源配电网的故障定位[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 36-42. LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, TONG Xiangqian, et al. Fault location for distribution systems with distributed generations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 36-42.

[11] 陶顺, 郭静, 肖湘宁. 基于电流保护原理的 DG 准入容量与并网位置分析[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 265-270. TAO Shun, GUO Jing, XIAO Xiangning. Analysis on allowed penetration level of distributed generation and its grid-connected position based on principles of current protection[J]. Power System Technology, 2012, 36(1): 265-270.

[12] 黄大为, 潘波. 考虑 DG 接入位置和容量的配电网保护综合改进方案[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(17): 64-70. HUANG Dawei, PAN Bo. Improved methods of distribution network protection scheme considering connection locations and capacity of DG[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 64-70.

[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, 2006.
- [14] IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems: IEEE Std 1547—2003[S].
- [15] 中国电力企业联合会. 光伏发电系统接入配电网技术规定: GB/T 29319—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- China Electricity Council. Technical requirements for connecting photovoltaic power system to distribution network: GB/T 29319—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [16] 杨恢东, 吴浪, 李心茹, 等. 改进的周期主动频移式孤岛检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 50-55.
- YANG Huidong, WU Lang, LI Xinru, et al. An improved islanding detection method based on alternate active frequency drift[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 50-55.
- [17] 王小立, 温靖华, 袁飞, 等. 基于频率-功率因数角组合判据的新型孤岛检测法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 100-105.
- WANG Xiaoli, WEN Jinghua, YUAN Fei, et al. A new anti-islanding detecting method based on combined criterion of frequency and power-factor angle[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 100-105.
- [18] 程启明, 王映斐, 程尹曼, 等. 分布式发电并网系统中孤岛检测方法的综述研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 147-154.
- CHENG Qiming, WANG Yingfei, CHENG Yinman, et al. Overview study on islanding detecting methods for distributed generation grid-connected system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 147-154.
-
- 收稿日期: 2016-08-16; 修回日期: 2016-11-30
- 作者简介:
- 贺敏(1972—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统及自动化、新能源发电及控制研发工作; E-mail: hemin@sgepri.sgcc.com.cn
- 徐光福(1982—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统中低压继电保护、分布式发电保护控制研发工作; E-mail: xugf@nrec.com
- 伊洋(1980—), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统自动化方面的运行管理工作。
- (编辑 张爱琴)