

基于状态量信息的含分布式电源配电网保护新方案

陈晓龙¹, 李永丽¹, 孙景钊²

(1. 天津大学 智能电网教育部重点实验室, 天津 300072;

2. 国网浙江省电力有限公司温州供电公司, 浙江 温州 325200)

摘要:为消除分布式电源(DG)接入对保护的影响,同时尽量减少改造成本,提出了一种基于多点状态量信息的含 DG 配电网保护新方案。对于 DG 下游辐射状线路和无 DG 接入的馈线,所提方案根据过电流保护动作信息实现故障定位。另外,基于馈线首端和 DG 并网点处的电压和电流信息,提出了补偿阻抗极性信息的新判据及其故障定位方法。当 DG 上游区域发生故障时,所提方案无需加装电压互感器,即可快速准确地切除 DG 上游区域的故障线路。最后,通过 PSCAD/EMTDC 软件对一个含 DG 的 10 kV 配电网进行故障仿真与分析,结果验证了所提方案的有效性和正确性。

关键词:分布式电源;配电网;过电流保护动作信息;补偿阻抗极性信息;故障定位

中图分类号:TM 77

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.12.020

0 引言

分布式电源 DG(Distributed Generation)接入配电网,改变了配电网的故障电流分布以及配电网原有保护配置的基础条件,配电网原有的无方向电流保护可能误动或者拒动^[1-2]。另外, DG 的投退以及 DG 输出功率的随机性和间歇性,使得含 DG 配电网的运行方式变得更加复杂,电流保护也难以整定。因此,需要研究能够适应 DG 接入的配电网保护新方案。

文献[3-4]对含逆变型 DG 配电网的自适应电流速断保护进行了研究。然而,电流速断保护并不能保护线路全长。与基于本地信息的保护相比,基于通信的保护方案能够充分利用多点电气量或状态量信息,从而能够更加准确地实现全线故障定位。

基于电流差动原理的保护方案对数据的同步性要求高,且多点电流值的测量误差累计可能产生较大的不平衡电流,使得保护的可靠性降低^[5]。基于方向纵联和电流保护动作信息的保护方案在网络中传输的是方向判断和动作信息结果,所需通信量少,对数据的同步性要求低^[6-7]。然而,这些方案均需在馈线上每个母线节点处均加装电压互感器或配置智能电子终端,改造成本高。

为降低成本,文献[8]利用馈线首端到 DG 并网点之间各保护装置限时电流速断保护的動作信息来实现 DG 上游区域的故障定位。然而,含 DG 配电网的运行方式复杂,传统限时电流速断保护整定值很难满足文中的灵敏度要求,同样需要加装电压互感

器来获取方向信息。另外,逆变型 DG 通常采用基于电压正序分量的控制策略,只存在于正序网络中,且在故障情况下只输出有功电流或几乎只输出无功电流,也可能使得功率方向元件判断错误^[9-10]。

配电自动化系统依靠故障电流信息实现故障定位^[11]。随着 DG 并网容量的增大,若 DG 上游故障时 DG 输出的短路电流大于整定值,则该方法同样无法实现准确故障定位。此时,若延长重合闸时间,等待 DG 自身脱离电网,则瞬时性故障可能发展成为永久性故障,并且长时间故障运行也将对 DG 及其他设备造成损坏;若在 DG 上游区域配置方向纵联保护,则仍存在增加改造成本和功率方向元件误判的问题。

为有选择性地快速保护线路全长,在不加装电压互感器以及不借助功率方向信息的前提下,本文提出了一种基于过电流保护动作信息和 DG 上游区域补偿阻抗极性信息的保护新方案。其中,补偿阻抗极性信息由馈线首端和 DG 并网点保护根据其电压和电流信息计算得到。本文方案能够消除 DG 接入对保护的影响,实现全线准确故障定位,其改造成本低、所需通信量少,对同步性要求低,易于实施。

1 基于过电流保护动作信息的故障定位方法

1.1 含 DG 配电网的区域划分及过电流保护

在如图 1 所示的含 DG 配电网中,馈线 1 接有 1 个 DG,馈线 2 接有 2 个 DG,馈线 3 没有 DG 接入。

本文将 DG 接入点和馈线首端之间的区域定义为 DG 上游区域,将距离馈线首端最远的 DG 接入点到馈线末端之间的区域定义为 DG 下游区域。同时,按照如下方式对 DG 上游区域进行划分:当馈线上只有 1 个 DG 接入时,将 DG 并网点到馈线首端的线路作为一个区域,如图 1 中的区域 1 所示;当馈线上有多个 DG 接入时,以 DG 并网点作为 DG 上游各

收稿日期:2017-11-23;修回日期:2018-11-15

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009-CB219704)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2009CB219704)

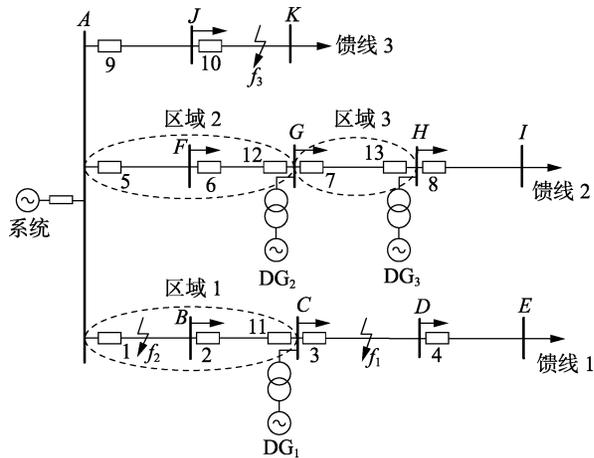


图 1 含 DG 配电网

Fig.1 Schematic diagram of distribution network with DG
区域分界点,如图 1 中的区域 2 和 3 所示。另外,将 DG 上游区域内距离系统最近的保护定义为 DG 上游区域首端保护,如保护 1、5、7 分别为所在区域的首端保护。

根据本文所述故障定位方法,仅需在各个 DG 上游区域靠近 DG 并网点处加装断路器并配置保护装置,便能够从两端切除 DG 上游区域的故障线路。以图 1 中 DG 上游区域 1 内发生故障为例,当线路 AB 发生故障时,保护 1 和 2 动作;当线路 BC 发生故障时,保护 2 和 11 动作。

定时限过电流保护即电流 III 段的启动电流按照躲开保护所在线路可能出现的最大负荷电流进行整定。对于图 1 中的保护 1,其电流 III 段的定值为:

$$I_{DZ.1}^{III} = \frac{K_{rel}^{III} K_{Ms}}{K_{re}} I_{Lmax} \quad (1)$$

其中, K_{rel}^{III} 为可靠系数; K_{Ms} 为自启动系数; K_{re} 为返回系数; I_{Lmax} 为流过线路 AB 的最大负荷电流。

1.2 基于过电流保护动作信息的故障定位方法^[8]

本文方法仅以电流 III 段的动作信息作为故障定位依据,各个保护的电流 III 段之间无需时限上的配合。由于电流 III 段的整定值小,因此当含 DG 配电网的不同位置发生故障时,可能存在故障线路和非故障线路上多个保护装置的电流 III 段均动作的情况。

下面以图 1 所示含 DG 配电网为例,简单介绍根据电流 III 段动作信息进行故障定位的基本原理。

a. DG 下游区域和没有 DG 接入的馈线均为单电源辐射状线路。当这些线路发生故障时,故障点一定位于有短路电流流过和没有短路电流流过的 2 个保护之间。因此,只要在 DG 下游区域或没有 DG 接入的馈线上存在电流 III 段动作的情况,则无需考虑 DG 上游区域内保护电流 III 段是否动作。比如,当 DG₁ 下游区域点 f_1 发生故障时,直接判断故障线路为电流 III 段动作的保护 3 和电流 III 段没有动作的

保护 4 之间的线路 CD。

b. 当 DG 上游区域,比如图 1 中的点 f_2 ,发生故障时,保护 1 的电流 III 段将动作。此时,若出现保护 1 的电流 III 段动作,同时由于 DG₁ 的出力或容量较小而保护 2 和 11 的电流 III 段不动作的情况,即线路 AB 两端保护的电流 III 段动作信息不一致,则可以直接判断故障点在线路 AB 上。然而,若 DG 的出力或容量较大,则区域 1 甚至 3 个 DG 上游区域中各个保护的电流 III 段均可能动作。此时,由于缺少方向信息,将无法判断故障线路。

因此,需继续充分发掘含 DG 配电网中其他可利用的电气量或状态量信息,形成辅助判据,实现 DG 上游区域的准确故障定位。

2 基于 DG 上游区域首端保护补偿阻抗极性信息的故障定位方法

2.1 补偿阻抗的构建及其极性

通常情况下,在变电站内变压器低压侧的母线上和 DG 并网点处均装有电压互感器。因此, DG 上游各个区域的首端保护均能够获得保护安装处的电压和流过保护的电流,进而能够通过对比测量阻抗值和整定阻抗值,来判断故障位置是否在本区域内。为只反映正方向故障,参考方向阻抗继电器的比幅式动作方程,构建补偿阻抗的表达式如式(2)所示。

$$Z_{dir} = \left| Z_{mea} - \frac{1}{2} Z_{set} \right| - \left| \frac{1}{2} Z_{set} \right| \quad (2)$$

其中, Z_{mea} 为测量阻抗值; Z_{set} 为整定阻抗值。

将补偿阻抗的最大灵敏角设置为线路阻抗角,从而使其灵敏性最优。由方向阻抗继电器的动作特性和式(2)可知,当保护范围内部发生故障时,满足 $|Z_{mea} - Z_{set}/2| \leq |Z_{set}/2|$,故 $Z_{dir} \leq 0$,若将 $Z_{dir} = 0$ 的极性归为负极性,则此时 Z_{dir} 的极性为负;当保护范围外部发生故障时,满足 $|Z_{mea} - Z_{set}/2| > |Z_{set}/2|$,故 $Z_{dir} > 0$,即 Z_{dir} 的极性为正。因此,通过 Z_{dir} 的极性信息,可以判断是否发生了正方向故障以及故障是否在保护范围内。

为仅依靠首端保护中 Z_{dir} 的极性信息来准确判断区域内的故障位置,设置 Z_{set} 的个数与区域内线路的条数相等,并且每个 Z_{set} 的取值按式(3)整定:

$$Z_{set} = K_{rel} Z_L \quad (3)$$

其中, K_{rel} 为数值大于 1 的可靠系数; Z_L 为区域内首端保护到区域内各条线路上距离系统较远一端的阻抗值。由式(3)可知,每个 Z_{set} 对应的保护范围大于与其对应的线路的全长。为使得 Z_{mea} 与区域内故障点到首端保护安装处的距离成正比,且不受故障类型、DG 类型和数量、DG 容量或出力等因素的影响,可通过 3 组相间电压和对应的相间电流计算得到 3 组 Z_{mea} 。对于某个 Z_{set} ,只要存在任意一组 Z_{mea} 能够

使得 Z_{dir} 的极性为负,则表明故障位置在该 Z_{set} 对应的保护范围之内。综上可知,若故障位置在某 DG 上游区域内,则该区域首端保护中必然存在某个或某几个 Z_{set} 对应的 Z_{dir} 的极性为负。

当保护出口处发生相间短路故障时,方向阻抗继电器将因加入的电压为 0 而不能动作,出现死区。在本文方法中,首端保护仅是判断 Z_{dir} 的极性信息,并将此信息上传到信息处理中心或与其他保护装置共享,当接收到信息处理中心下发的跳闸指令或者判断故障位置在本条线路后才会动作,故不存在死区。

2.2 基于补偿阻抗极性信息的故障定位方法

设 Z_{set_X} 和 Z_{dir_X} 分别为与线路 X 对应的整定阻抗值和补偿阻抗值。在图 2 所示配电网中的 DG₁ 上游区域 1 内有 3 条线路,故其首端保护 1 中有 3 套整定阻抗值,分别为 $Z_{set_{AB}}$ 、 $Z_{set_{AC}}$ 和 $Z_{set_{AD}}$,其值和所对应的保护范围依次增大。其中, $Z_{set_{AD}}$ 对应的保护范围包含了区域 1 内的所有线路。在区域 1 和 2 内,首端保护 1 和 4 中各个 Z_{set} 对应的保护范围如图 2 中的虚线所示。

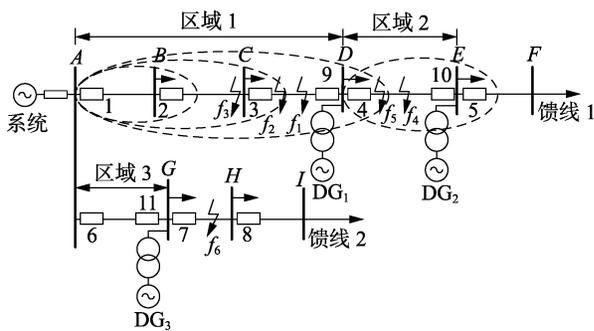


图 2 接有 DG 的配电网

Fig.2 Distribution network with DG

下文以图 2 中区域 1 和区域 2 内的不同位置发生故障为例,介绍根据 DG 上游区域首端保护中 Z_{dir} 的极性信息进行故障定位的基本原理。

(1) 对于某一含有多条线路的 DG 上游区域,当保护范围大小是相邻关系的 2 个 Z_{set} (如图 2 保护 1 中的 $Z_{set_{AB}}$ 和 $Z_{set_{AC}}$ 、 $Z_{set_{AC}}$ 和 $Z_{set_{AD}}$) 对应的 Z_{dir} 的极性不同时,则故障位置肯定在 2 个保护范围的非重叠区域上。另外,在综合考虑互感器误差等影响因素的前提下,可靠系数的设置需使得 Z_{set} 的取值大于首端保护到对应线路末端之间的线路阻抗值,同时小于到对应线路下游线路末端的阻抗值,因此相邻 2 个保护范围的非重叠区域跨越了 2 条线路。此时,需根据以下 2 种情况进行保护动作逻辑和故障定位分析。

a. 当非重叠区域跨越的是 2 个不同 DG 上游区域内的 2 条线路时,如保护 1 中 $Z_{set_{AC}}$ 和 $Z_{set_{AD}}$ 对应保护范围之间的非重叠区域,故障点的具体位置取

决于距离系统较远的区域 2 的首端保护 4 中 $Z_{dir_{DE}}$ 的极性。若 $Z_{dir_{DE}}$ 的极性为正,则故障点在线路 CD 上(如故障点为点 f_1);否则,故障点在线路 DE 上(如故障点为点 f_5)。

b. 当非重叠区域跨越的是同一区域内的 2 条线路时,非重叠区域内的保护必然是故障线路的一端保护,其必须动作以实现故障隔离。因此,在这种情况下,首先向非重叠区域内的保护发送跳闸指令,然后根据与该保护相邻的系统侧保护的过电流保护动作信息,判断故障的具体位置。以保护 1 中 $Z_{set_{AB}}$ 和 $Z_{set_{AC}}$ 对应保护范围之间的非重叠区域为例,首先断开非重叠区域中保护 3 处的断路器,然后根据线路 BC 上保护 2 的过电流保护动作信息判断故障是否被切除。若保护 2 的过电流保护仍然动作,则故障点在线路 BC 上(如故障点为点 f_3);否则,故障点在线路 CD 上(如故障点为点 f_2)。

(2) 当(1)中所述区域内的各个 Z_{set} 对应的 Z_{dir} 的极性均为负时,故障位置在整定值最小的 Z_{set} 对应的保护范围内。该范围跨越了 2 条线路,和(1)b 中的处理方式类似,首先向非重叠区域内的保护发送跳闸指令,然后根据首端保护的过电流保护动作信息,判断故障的具体位置。

(3) 由于 Z_{set} 对应的保护范围大于与其对应的线路的全长,因此对于同一馈线上 2 个相邻的 DG 上游区域,若其首端保护中均存在 Z_{dir} 极性为负的情况,则故障点必然在距离系统较远的区域内。若该区域内有多条线路,则之后的故障定位逻辑同(1)中所述。

需要注意的是,当 DG 下游线路发生故障时,如 DG₁ 下游线路 DE 发生故障,DG₁ 提供助增电流使得区域 1 中 $Z_{set_{AD}}$ 对应的保护范围减小,使得 $Z_{dir_{AD}}$ 极性由正变负的故障点位置更加靠近保护 4,但由于 $Z_{dir_{DE}}$ 的极性恒为负,因此无论 $Z_{dir_{AD}}$ 的极性为正或为负,均能够判断故障位置在线路 DE 上。

对于短线路,只要与该线路的上游相邻线路对应的整定阻抗值不超过短线路末端到首端保护的线路阻抗值,该故障定位方法就依然能够准确判断故障。假设图 2 中线路 BC 为短线路,只要线路 AB 对应的整定阻抗值 $K_{rel} Z_{AB} < Z_{AB} + Z_{BC}$,当线路 BC 发生故障时,本文方案就能准确将其切除。当线路 BC 很短时,可以通过减小可靠系数 K_{rel} 来满足上述要求,也可以对该线路配置电流差动保护来改善保护性能。

与线路阻抗相比,负荷等值阻抗很大。当某一 DG 上游区域发生故障时,负荷的存在不会影响该区域首端保护中 Z_{dir} 极性信息的正确性。另外,上述故障定位方法在通信网络中传输的是在故障瞬间补偿阻抗极性信息的判断结果。由于故障点的过渡电阻

值通常经过 0.1~0.15 s 后才迅速增大,因此过渡电阻对本文方法的影响很小^[12]。

3 具体实施方法

本文方案的实施方式既可以是集中式保护,也可以是分布式保护。集中式保护需要设置信息处理中心,分布式保护则需要保护之间能够互相通信。

当含 DG 配电网中某个或某些保护的电流Ⅲ段动作时,该保护主动上传或共享此信息。若该保护为 DG 上游区域首端保护,则其将同时上传或共享补偿阻抗极性信息。为提高信息容错能力,只要流过保护的短路电流超出其电流Ⅲ段整定值,就每隔一定时间间隔(如 5 ms)上传或共享电流Ⅲ段动作信息和补偿阻抗极性信息。当信息连续 3 次保持一致时,认为该信息是正确信息。然后,信息处理中心或保护对信息进行分析,并采取相应的保护动作逻辑。综合第 1、2 节的内容,故障定位流程图如图 3 所示。本文方案具有所需通信量少、处理速度快、对

信息的同步性要求低等特点。

4 算例仿真与分析

4.1 算例模型

本文算例的系统结构图见图 2。系统的基准容量设置为 100 MV·A,基准电压设置为 10.5 kV,短路容量设置为 400 MV·A;线路参数为 $x_1=0.347 \Omega/\text{km}$, $r_1=0.27 \Omega/\text{km}$ 。在各条馈线上,各母线处均接有额定功率为 3 MV·A、功率因数为 0.85 的负荷。在馈线 1 上,由首端到末端各条线路的长度分别为 2 km、2 km、2 km、3 km 和 3 km;在馈线 2 上,由首端到末端各条线路的长度分别为 1 km、2 km 和 3 km。另外,假设 DG_1 为逆变型 DG, DG_2 和 DG_3 为同步机型 DG,其额定容量分别为 10 MW、20 MV·A、20 MV·A。

假设流过保护的最大负荷电流为保护下游负荷额定电流的 1.1 倍,并按照式(1)对系统中各个保护的电流Ⅲ段进行整定。其中,可靠系数取为 1.2,自启动系数取为 1.1,返回系数取为 0.95。流过保护 1—8 的最大负荷电流和相应电流Ⅲ段的整定值如表 1 所示,保护 9—11 的电流Ⅲ段整定值分别和在同一条线路上的保护 3、4 和 6 的电流Ⅲ段整定值相同。

表 1 流过保护的最大负荷电流和电流Ⅲ段整定值

Table 1 Maximum load current and setting value of over-current protection

保护	$I_{L,\max}/\text{A}$	$I_{\text{DZ}}^{\text{III}}/\text{A}$	保护	$I_{L,\max}/\text{A}$	$I_{\text{DZ}}^{\text{III}}/\text{A}$
1	907	1 262	5	182	253
2	726	1 009	6	544	756
3	544	756	7	363	504
4	363	504	8	182	253

4.2 仿真与分析

基于 PSCAD/EMTDC 仿真平台搭建算例模型,并以在馈线 1 上 DG 上游区域的点 f_1 (与保护 3 的距离为 1.5 km)、点 f_3 (与保护 2 的距离为 1.5 km)和点 f_5 (与保护 4 的距离为 0.1 km)以及馈线 2 上 DG 下游区域的点 f_6 (与保护 7 的距离为 1 km)分别发生 BC 两相相间短路为例,进行故障仿真与分析。

当不同故障点发生 BC 两相相间短路故障时,流过不同保护的故障相 B 相短路电流值如表 2 所示。

由表 2 可知,当 DG 下游区域的点 f_6 发生 BC 相间短路故障时,DG 下游区域的保护 7 和保护 8 的电流Ⅲ段动作信息不一致。此时,直接判断故障位置在保护 7 和保护 8 之间,并向保护 7 发送跳闸指令,这与实际情况相符。然而,当故障点为 DG 上游区域的点 f_1 、 f_3 和 f_5 时,区域 1 和区域 2 内各个保护的电流Ⅲ段均动作,并且当故障点为点 f_3 时,相邻馈线区域 3 内 2 个保护的电流Ⅲ段也动作。此时,需根据 DG 上游区域首端保护中补偿阻抗 Z_{dir} 的极性信

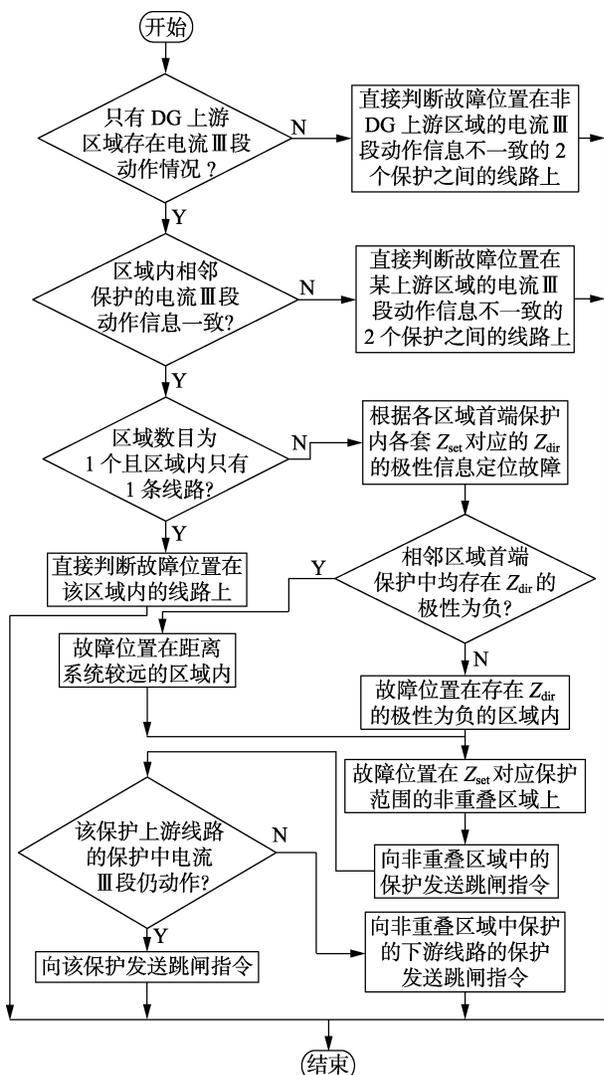


图 3 故障定位流程图

Fig.3 Flowchart of fault location

表 2 不同故障点发生 BC 相间短路时 B 相短路电流值
Table 2 Calculation results of short circuit current of phase-B under short circuit between phase B and phase C locating at different points

保护	B 相短路电流/A			
	点 f_1 故障	点 f_3 故障	点 f_5 故障	点 f_6 故障
1	2 174	3 138	2 003	209
2	2 069	3 057	1 894	223
3	2 012	1 706	1 828	325
4	2 344	1 669	1 954	147
5	133	141	130	154
6	752	917	724	2 003
7	290	288	291	4 328
8	142	142	143	72
9	2 498	1 706	1 828	325
10	2 344	1 669	2 670	147
11	752	917	724	2 003

息实现精确故障定位。整定阻抗可靠系数 K_{rel} 取为 1.2, 在 3 个 DG 上游区域首端保护中, 由 BC 线电压及由 BC 线电流仿真计算得到的 Z_{dir} 的数值如表 3 所示。

表 3 DG 上游区域首端保护中 Z_{dir} 的仿真计算结果
Table 3 Simulation and calculation results of Z_{dir} in head protection of DG's upstream area

区域	Z_{dir_X}	点 f_1 故障	点 f_3 故障	点 f_5 故障
1	Z_{dir_AB}	1.291 1	0.471 1	1.529 7
	Z_{dir_AC}	0.764 4	-0.055 6	1.003 0
	Z_{dir_AD}	-0.815 3	-1.524 2	-0.576 5
2	Z_{dir_DE}	0.246 3	1.188 6	-0.043 9
3	Z_{dir_AG}	—	6.176 3	—

注:—表示无需该处 Z_{dir} 的极性信息。

由表 3 可知, 当故障位置为点 f_1 时, 只有区域 1 的保护 1 中 Z_{dir_AD} 的极性为负, 故直接判断故障位置在线路 CD 上, 并向线路 CD 两端的保护 3 和保护 9 发送跳闸指令; 当故障位置为点 f_3 时, 区域 1 的保护 1 中 Z_{dir_AC} 和 Z_{dir_AD} 的极性均为负, 故首先向非重叠区域中的保护 3 发送跳闸指令, 之后流过保护 2 的短路电流为 3 003 A, 仍能够接收到保护 2 的电流 III 段动作信息, 故再向保护 2 发送跳闸指令; 当故障位置为点 f_5 时, 区域 1 的保护 1 中 Z_{dir_AD} 的极性和区域 2 的保护 4 中 Z_{dir_DE} 的极性均为负, 故直接判断故障位置在区域 2 的线路 DE 上, 并向保护 4 和保护 10 发送跳闸指令。上述分析判断均与实际情况相符。

5 结论

为消除 DG 接入配电网后对保护的影响并保护线路全长, 在不加装电压互感器的前提下, 本文提出了一种基于过电流保护动作信息以及 DG 上游区域首端保护补偿阻抗极性信息的保护新方案。利用馈线首端和 DG 并网点的电压信息, 并借助通信技术, 本文方案能够准确判断故障线路, 且易于实施, 不受 DG 接入的影响。

参考文献:

- [1] 尚璿, 邵能灵, 刘琦, 等. 考虑分布式电源的配电网保护改进方案研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 40-45. SHANG Jin, TAI Nengling, LIU Qi, et al. New protection method for distribution network with DG [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 40-45.
- [2] 陈晓龙, 李永丽, 赵曼勇, 等. 计及配电网电流保护整定原则的逆变型分布式电源准入容量计算[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 156-162. CHEN Xiaolong, LI Yongli, ZHAO Manyong, et al. IBDG penetration level calculation considering current protection setting principle for distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 156-162.
- [3] 陈晓龙, 李永丽, 谭会征, 等. 含逆变型分布式电源配电网的自适应正序电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 107-112. CHEN Xiaolong, LI Yongli, TAN Huizheng, et al. An adaptive instantaneous trip protection based on positive-sequence current for distribution network with IBDG [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 107-112.
- [4] 马静, 刘静. 基于故障稳态分量的含 DG 配电网自适应方向电流保护方案[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(1): 1-9. MA Jing, LIU Jing. Adaptive directional current protection scheme based on steady state component in distribution network with DG [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(1): 1-9.
- [5] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 基于故障电压比较的广域后备保护新算法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(7): 274-283. HE Zhiqin, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. A novel wide area backup protection algorithm based on fault voltage comparison [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(7): 274-283.
- [6] 徐萌, 邹贵彬, 陈宁, 等. 基于故障超前相的有源配电网能量方向纵联保护方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 58-64. XU Meng, ZOU Guibin, CHEN Ning, et al. Energy-directional pilot protection based on leading-phase for active distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(1): 58-64.
- [7] 马静, 张涌新, 项晓强, 等. 基于保护动作信号的配电网区域保护方案[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(3): 34-41. MA Jing, ZHANG Yongxin, XIANG Xiaoliang, et al. Regional protection scheme of distribution network based on operating signal of protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(3): 34-41.
- [8] 孙景钊, 陈荣柱, 蔡斌, 等. 含分布式电源配电网的故障定位新方案[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1645-1650. SUN Jingliao, CHEN Rongzhu, CAI Shi, et al. A new fault location scheme for distribution system with distributed generations [J]. Power System Technology, 2013, 37(6): 1645-1650.
- [9] 吴争荣, 王钢, 李海锋, 等. 含分布式电源配电网的相间短路故障分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(1): 130-136. WU Zhengrong, WANG Gang, LI Haifeng, et al. Analysis on the distribution network with distributed generators under phase-to-phase short circuit faults [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(1): 130-136.
- [10] 谭会征, 李永丽, 陈晓龙, 等. 带低电压穿越特性的逆变型分布

(下转第 154 页 continued on page 154)

DC amplitude stepped incremental emergency power support based on dynamic estimation of unbalanced power

LI Congshan, HE Ping, JIN Nan, WU Jie, TAO Yukun, YANG Cunxiang, GUO Jian

(School of Electrical and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The extended state observer of unbalanced power in power system under disturbance is built, and its parameters are set up to realize the real-time and accurate estimation of unbalanced power. Considering the limiting factors of DC emergency power support, the emergency power support capacity is optimized, and the power support target is achieved based on the stepped increment principle of power support. According to the power disturbances, the threshold index is defined to realize the selection of three amplitude stepped incremental support schemes. A 4-machine 2-area AC/DC parallel transmission system is built in PSCAD, and the simulative results verify the effectiveness of the proposed method.

Key words: emergency power support; extended state observer; limiting factor of power support; stepped increment principle; AC/DC parallel system

(上接第 139 页 continued from page 139)

式电源对配电网短路电流的影响[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(8):31-37.

TAN Huizheng, LI Yongli, CHEN Xiaolong, et al. Influence of inverter-interfaced distributed generator with low-voltage ride-through capability on short circuit current of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(8):31-37.

[11] 刘健, 林涛, 李龙, 等. 分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(20):7-12.

LIU Jian, LIN Tao, LI Long, et al. Adaptability of distribution automation systems to photovoltaic installation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(20):7-12.

[12] 贺家李, 李永丽, 董新洲, 等. 电力系统继电保护原理[M]. 4 版. 北京: 中国电力出版社, 2010:141.

作者简介:



陈晓龙

陈晓龙(1985—), 男, 河南濮阳人, 讲师, 博士, 主要研究方向为微电网、含分布式电源配电网及交直流混联电网保护与控制(E-mail: promising1207@163.com);

李永丽(1963—), 女, 河北石家庄人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 从事电力系统故障分析、保护与控制等工作(E-mail: lytju@

163.com);

孙景钉(1983—), 男, 浙江瑞安人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为电网运行、分布式发电及微电网技术(E-mail: sunjingliao@163.com)。

Novel protection scheme based on status information for distribution network with DGs

CHEN Xiaolong¹, LI Yongli¹, SUN Jingliao²

(1. Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Company Wenzhou Electric Power Supply Company, Wenzhou 325200, China)

Abstract: In order to eliminate the impact of DG(Distributed Generation) on protection and reduce the improvement cost as much as possible, a novel protection scheme based on multi-point status information for distribution network with DGs is proposed. For radial lines in the downstream area of DG and the feeders without DG access, the scheme can rapidly and accurately realize the fault location according to the action information of over-current protection. Moreover, a new criterion of the polarity information of compensation impedance and the corresponding fault locating method are proposed based on the voltage and current information at the head of feeder and the point of common coupling. When the fault occurs in the upstream area of DG, the proposed scheme can rapidly and accurately isolate the fault lines without additional potential transformer. Finally, the faults on a 10 kV distribution network with DGs are simulated and analyzed by PSCAD/EMTDC, and the results verify the effectiveness and correctness of the proposed scheme.

Key words: distributed power generation; distribution network; action information of over-current protection; polarity information of compensation impedance; fault location