

[分布式电源]

应对分布式电源接入的配电网故障研判功能改造方案

文/魏正澜

国网福建省电力有限公司福州供电公司

分布式能源（DG）并网对配电网故障研判的影响集中在：故障时因DG持续给配电网供电，使得应停电配电变压器仍带电，影响对跳闸点的判断；DG持续给故障点传输故障电流，使得所流经之处出现过电流信号，影响对故障区间的判断。针对以上情况分别提出改造方案，以消除DG带来的不良影响。

随着分布式电源的迅速发展，其对电网造成的影响也日益突出。分布式电源并入配电网后，对配电网故障研判造成的不良影响包括：①在故障发生时，分布式电源持续给配电网供电，使得应停电配电变压器仍带电，影响了配电网故障研判功能对跳闸点的判断^[1]；②在主电网电源跳闸后，分布式电源持续给故障点传输故障电流，使得所流经之处出现过电流信号，影响了配电网故障研判功能对故障区间的判断^{[2][3]}，需要对配电网故障研判功能进行改造。改造方案包括对分布式电源的接入点开关保护进行改造，以及对配电网研判功能模块的内部逻辑进行改造。

由于篇幅有限，无法对各类分布式电源一一进行建模、讨论。而A地区风电发展迅速，可以预见到未来几年内会有大规模风电接入的需求。故选择风力发电设备中应用最广泛的双馈风机作为分布式电源的代表进行建模和分析，以便进行后续研究。

改造方案

1. 分布式电源接入点开关保护改造

改造方案的第一步，是给分布式电源接入点加装具有故障电流开断能力的断路器作为开关。该开关的保护目标为开关能在配电网出现短路故障情

况下0 s跳开。

分布式电源接入配电网后配电网由原本的单电源系统变为双电源系统，电网出现潮流^[4]，方向不定、大小不定，故使用配电网常见的过电流保护作为接入点开关针对配电网故障的保护，无法达到效果^[5-6]。经过在PSCAD系统中建模、仿真，最终确定以分布式电源接入点电压、电流的相位差突变作为配电网是否发生故障的依据，基于分布式电源接入点的电压相位突变的保护方案。在PSCAD中根据A地区的实际配电网搭建配电网模型，负荷为L1~L9，选择4 MV·A的双馈风机接入配电网。在该模型上进行故障情况仿真，设置故障为BC相接地，发生在负荷L6处。故障在8 s时发生，在8.62 s时消失。在故障情况的仿真中，对双馈风机逆变器的输出电流与接入点电压的相位差 ϕ 与时间的函数 $\phi(t)$ 图形进行观察，发现在配电网正常运行时， ϕ 的最大变化量约为 36° ；8.0 s配电网发生故障时， ϕ 从 -159° 突变至 144° ，突变量为 303° 。

通过观察相位变化率 k （即斜率）能更直观地感知到双馈风机逆变器的输出电流与接入点电压的相位差是否出现突变，即配电网是否发生故障情况。故基于此作为双馈风机接入点断路器针对配电网故障的保护整定方案。

通过改变双馈风机容量、故障发生位置和故障类型等故障条件进行多次仿真，结果见表1。

表1 不同故障条件下故障前后 $\phi(t)$ 波形图相位变化率 k 值

故障条件	$k(t=8.0)$	$k(t=7.99)$
接入2 MV·A双馈风机	59 337.5	-225.564
故障发生在主支线上	69 853.8	792.065
故障为三相接地故障	87 706.2	934.85

可以看出，在不同双馈风机容量、不同故障位置 and 不同故障类型情况下，故障发生时 ϕ 总会有大幅变化，有无症状发生时的相位变化率 k 易于区分，若使用 k 值作为保护动作条件，在配电网故障时保护能准确动作。

根据多次仿真的结果得到：配电网正常运行时 k 的绝对值 $|k|$ 均在4 000以下，故障发生时刻 $|k|$ 均在50 000以上，故 $|k|_{dz}$ 应在两者之间，留有一定裕量后，可按以下公式设定

$$|k|_{dz} = K_{rel} \times 4000 = 5\ 000 \quad (1)$$

式中， K_{rel} 为可靠系数，取 $K_{rel}=1.25$ 。设定保护跳闸动作 $|k|$ 值为5 000，系统实时计算 $|k| > 5\ 000$ 即动作于接入点开关跳闸，保护时限0 s。

2. 研判功能模块的改造方案

研判功能模块的改造有两个目标。

1) 在研判跳闸点时，能区分出由主电网电源供电的配电变压器和由分布式电源供电的配电变压器，并据此修改研判逻辑。

2) 在研判故障区间时，能区分出由主网电源供电的过电流信号/动作故障指示器和由分布式电源供电的过电流信号/动作故障指示器，并据此修改研判逻辑。

要达到这些目标，需要两个步骤。

1) 根据实时电网运行参数判断配变、异常信号的供电电源。

2) 根据1)的结果对应改造研判功能模块。

(1) 判断配变、过流信号、动作故障的供电电源
将连接主网电源和风机之间的线路称为主支线，支接在主支线上的线路称为小支线。

实时状态下由双馈风机和由主网电源所供的配变，可以通过装设在主支路上的断路器遥测值来区分判断。A供电公司在对于终端的采集规范中，明确各类终端应具备正反向有功电量计算功能，配电变压器的供电状态，可以根据装设在主支路上的断

路器的实时正反向有功电量来判断。设有有功电量从主网电源发出为正方向，若出现一部分开关有功电量为正，一部分开关有功电量为负，则最后一个显示正有功电量的开关与第一个显示负有功电量的开关之间的小支线上的配电变压器可能由主电网电源和双馈风机共同供电，该小支线往主网电源侧所有小支线上的配变均由主网电源供电，往双馈风机侧所有小支线上的配变均由双馈风机供电。故通过比较距离，配电变压器最近的两个主支线开关的有功电量方向，可得知配变的实时电源。

三遥开关过电流信号的实时电源，根据开关安装位置不同，判断方法不同。因三遥开关本身具有识别有功电量方向的能力，故将安装在主支线上的三遥开关的过电流信号与它们所采集到的有功电量方向对照即可得知该过流信号的供电电源。对安装在小支线上的三遥开关的过流信号的实时电源判断需通过比较距离过电流信号最近的两个主支线开关的有功电量方向来判断。

故障指示器本身不具备识别有功电量方向的能力，因此对于安装任意位置的故障指示器实时电源判断方法都一样，都需通过比较距离动作故障指示器最近的两个主支线开关的有功电量方向来判断。

通过以上方法对配电变压器、三遥开关过电流信号、动作故障的供电电源进行判断，可能得到三种结果：由主电网电源供电、由双馈风机供电、由双馈风机和主网电源共同供电。

(2) 研判功能模块改造

在能明确配电变压器、三遥开关过电流信号、动作故障指示器的实时供电电源的基础上对研判功能模块进行改造，应分为对外和对内两个步骤。

对外改造，即对该功能模块面向调度员的部分进行改造。

故障研判功能模块对于配电网正常运行状态下由双馈风机及由主网电源所供的配电变压器在内部进行分类，在DMS系统的联络图中以不同颜色展示；对于故障发生后出现的动作故障指示器和三遥开关过流信号，也根据其在故障发生时刻的实时供电电源来区分，并在联络图中以不同颜色展示，便于调度员进行判断。

对内改造指对研判功能的内部逻辑进行改造，首先对跳闸点研判的逻辑进行改造。

在正常运行时主站系统将馈线所有配电变压器根据实时供电电源分为三类：由主网电源供电（A类）、由双馈风机供电（B类）、由主网电源和双馈风机共同供电（C类），在系统内部生成新的两个拓扑图：主网电源和所有A类配电变压器生成新拓扑图1，双馈风机和所有B类配变生成新拓扑图2。收到停电事件之后在新拓扑图上按照原有逻辑从负荷侧向电源侧逐个开关判断跳闸点。

由于接入双馈风机的配电网络为双电源网络，最多只会有一条小支线上的配变属于C类。对于C类

配变，当C类配电变压器和A类或B类配电变压器一起出现在停电事件列表中时，可忽略C类配变按上一段落所述方法在新拓扑图里判断跳闸点，对最终的结果没有影响。当收到的停电事件里只有C类配电变压器时，则大概率是一条由主网电源和双馈风机共同供电的小支线上的开关跳闸。则以C类配电变压器所在小支线为新拓扑，以其所在小支线第一级开关为拓扑终点，从负荷侧向终点侧逐个开关判断跳闸点。

改造后的跳闸点判断逻辑框图如图1所示。

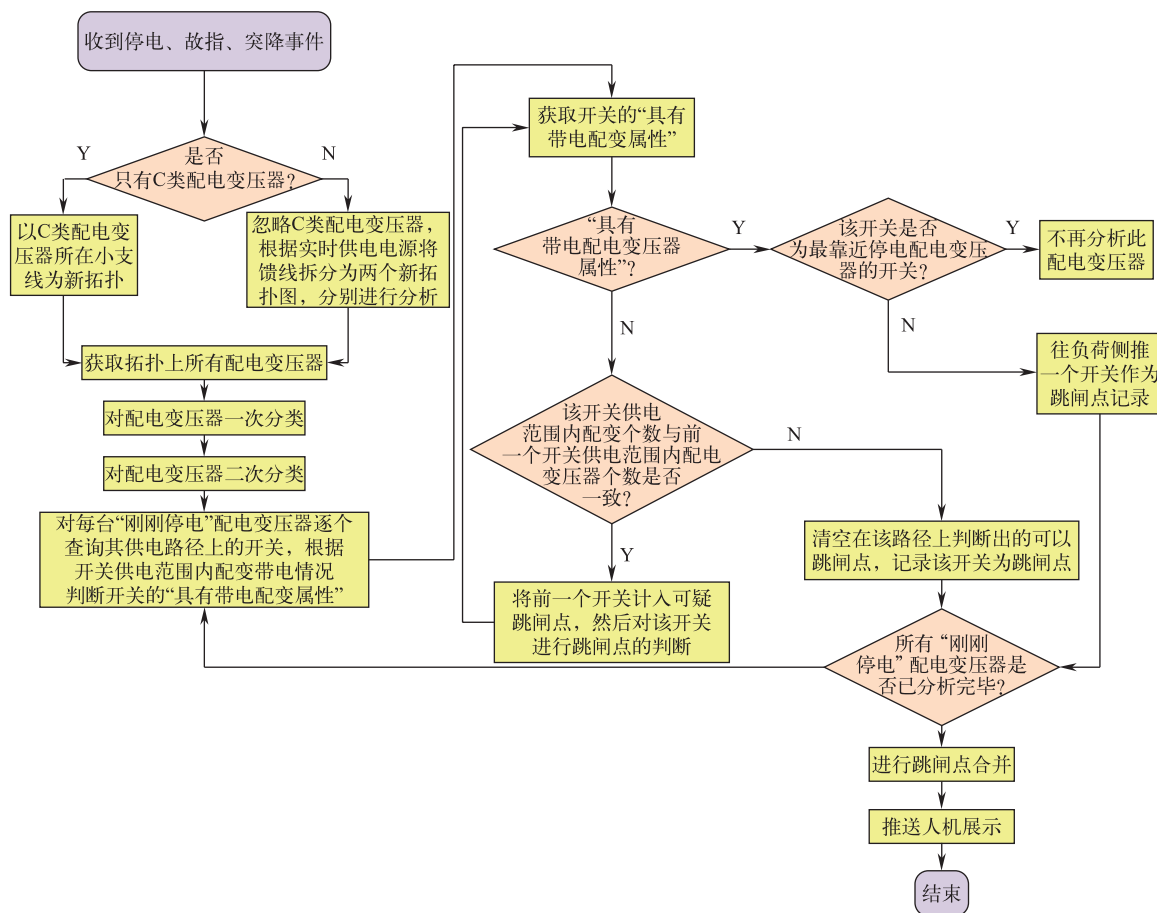


图1 改造后跳闸点研判逻辑框图

在进行故障区间研判时，应首先判断过电流信号及动作故障指示器是否只出现在主干线上。用 I_m 表示主网电源提供的故障电流， I_d 表示双馈风机提供的故障电流。

如图2所示，若过电流信号及动作故障指示器只出现在主干线上，则故障点应在 I_m 和 I_d 的相交处。故应修改研判逻辑，以从电源（包括主网电源和双馈风机）出发为起始点，故障区间在最后一个由主

网电源供电的三遥开关过电流信号/动作故障指示器和最后一个由双馈风机供电的三遥开关过电流信号/动作故障指示器之间。

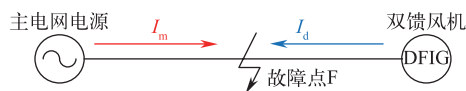


图2 故障点在主支线上时的故障电流流向

如图3所示，若过电流信号及动作故障指示器

不只出现在主干线上，则故障点应位于 I_m 和 I_d 所共同流经的分支线上。故应修改研判逻辑，以从电源（包括主电网电源和双馈风机）出发为起始点，故障区间在最后一个由主电网电源和双馈风机共同供电的三遥开关过电流信号/动作故障指示器和第一个未动作的三遥开关/故障指示器之间。

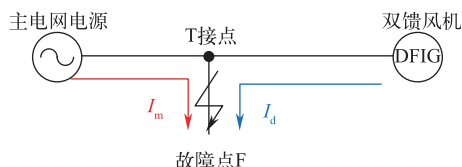


图3 故障点在小支线上的故障电流流向

改造后的故障区间研判逻辑框图如图4所示。

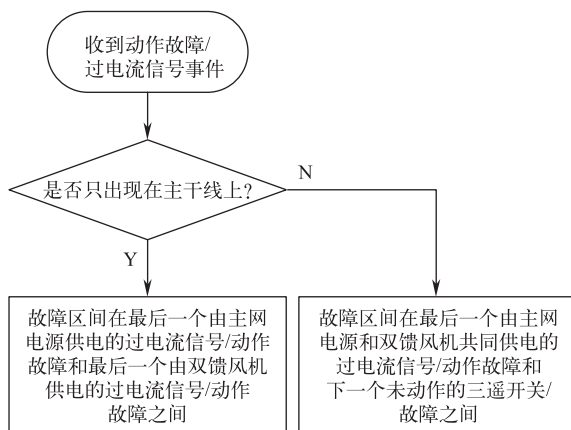


图4 改造后故障区间研判逻辑框图

结束语

本文针对分布式电源接入对配电网故障研判带来的影响，以双馈风机作为分布式电源的代表进行

建模仿真，提出了分布式电源接入点断路器保护定值改造方案以及配电网研判功能模块的改造方案：利用配电网发生故障时分布式电源接入点电压、电流的相位差会发生骤变的特点，将该相位差作为保护动作的依据以达到在配电网发生故障时分布式电源能及时脱网的目的；利用主网电源与分布式电源之间线路上三遥开关的功率方向得到配电网中配电变压器的实时电源，在配电网故障研判功能模块中进行标记，在判断跳闸点与判断故障区间时均将由主网电源供电的信号和由分布式电源供电的信号区分开。EA

(收稿日期：2025-04-25)

参考文献

- [1] 白云飞. 含分布式电源的配电网电流保护仿真与研究[D]. 河北：河北科技大学，2018.
- [2] 孙景钊，李永丽，李盛伟，金强. 含分布式电源配电网保护方案[J]. 电力系统自动化，2009，33(1)：81-84+89.
- [3] 董雨欣. 含DG配网的单相接地保护研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2019.
- [4] 冯义，晋斌，陈娜，等. 计及分布式电源接入的配电网故障恢复方法[J]. 电器与能效管理技术，2021(12)：78-84.
- [5] 薛录权. 含分布式电源的配电网优化运行研究[J]. 光源与照明，2023(11)：141-143.
- [6] 曹越，窦鹏志，原泉，等. 含分布式电源的配电网事故定位方法研究[J]. 东北电力技术，2024，45(7)：32-37.

