

分布式电源接入配电网对继电保护影响及案例分析

李 琳, 吴 昱

(南京供电公司, 江苏 南京 210029)

摘 要: 本文详细分析了分布式电源接入配电网对继电保护的影响, 在此基础上, 通过实际接入方案分析, 提出采用改造二次系统配置, 满足 DG 接入, 降低接入成本, 提高电网运行效率。

关键词: 分布式电源; 配电网继电保护; 重合闸

0 引言

随着可再生能源的推广, 以风力发电、水力发电、太阳能发电、热电联产、垃圾发电等功率为几 kW 至几十 MW 的小型电源为代表的分布式电源 (Distributed Generation, DG) 已成为一种重要的电力电源形式。大量的 DG 并网使配电网的结构和运行方式发生了很大的变化, 原先的保护控制体系越来越难以适应。本文简要分析了 DG 接入对于配电网继电保护影响, 通过实际接入方案分析, 提出采用改造二次系统配置, 满足 DG 接入, 降低接入成本, 提高电网运行效率。

1 分布式电源接入配电网对继电保护影响

传统的配电系统总体上采取了单电源、辐射式结构, 电能由高电压流向低电压, 经馈线送达用户。在这种运行方式下, 单向的潮流成为了配电网保护控制系统设计的基本条件。DG 接入对故障电流有助增作用, 如图 1 所示, 多个 DG 都会提供故障电流, 增大了故障电流大小, 改变了故障电流方向。

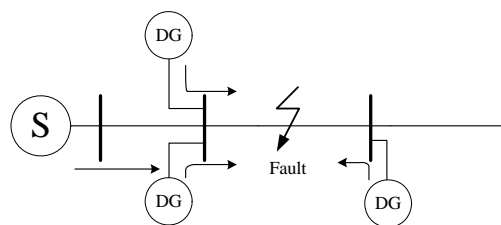


图1 DG对故障电流助增作用

1.1 DG 对过电流保护的影响

假设将某 DG 接入一条馈线上, 当馈线末端发生故障时, 故障电流来自于配电变压器和 DG。如图 2 所示。

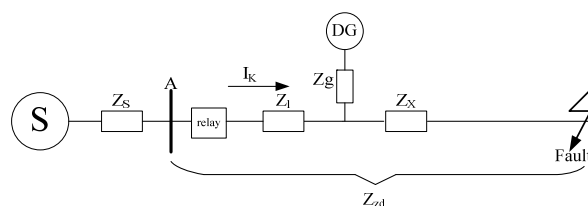


图2 DG接入降低馈线保护灵敏度

Z_s : 电力系统和配电变压器的阻抗; Z_g : DG 和变压器的等效阻抗; Z_l : 母线至 DG 接入点之间的阻抗 (表征 DG 接入位置); Z_x : 保护末端至 DG 接入点之间的阻抗; Z_{zd} : 线路保护范围内的总阻抗

当无 DG 接入时, 馈线保护感知到的故障电流为 I_s , DG 接入的情况下, 馈线保护感知到的故障电流为 I_K , 可以通过 I_K / I_s 的比值反映出 DG 接入对保护灵敏度的影响程度。等效电路见图 3。

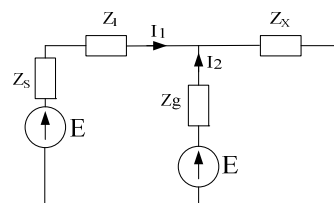


图3 等效电路

$$I_K = \frac{E}{(Z_{zd} + Z_s) + Z_x [Z_s + Z_l] / Z_g} \quad (1)$$

当未接入 DG 时馈线保护感知到的故障电流为:

$$I_s = \frac{E}{Z_{zd} + Z_s} \quad (2)$$

从上述两式可以看出 I_K / I_s 的比值小于 1, 这说明由于 DG 的接入使保护所检测到的故障电流有所降低, 降低了馈线保护的灵敏性。

1.2 DG 对阻抗继电器保护的影响

由分布式能源接入配电网所引起的距离保护有效范围缩小的现象在文献[1]、[2]中有所涉及。阻抗继电器的保护范围是在一定阻抗区域内触发继电器动作的最大故障距离。这个最大距离对应于检测到的最大故障阻抗或者最小故障电流。

图 4 系统中继电保护装置 R 在 a 点短路时的故障电压可按下式计算：

$$U_r = I_{nw}Z_{23} + (I_{nw} + I_{wt})Z_{3a} \quad (3)$$

式中： Z_{23} 是从母线 b_2 到 b_3 的线路阻抗； Z_{3a} 是母线 b_3 到故障点 a 的线路阻抗。由式(3)可见，电压 U_r 由于分布式电源 G 通过母线 b_3 的额外电流注入而增大。因而，保护装置 R 测量到的阻抗为

$$Z_r = \frac{U_r}{I} = Z_{23} + Z_{3a} + \frac{I_{dg}}{I_{nw}}Z_{3a} = Z_{r. real} + Z_{r. distur} \quad (4)$$

由式(4)可见， R 测量到的阻抗 Z_r 大于实际的故障阻抗 $Z_{r. real}$ 。这会导致 R 对应的故障距离增加，缩小有效保护范围，并可能由下一个故障区域的故障触发误动作，如图 4 所示。

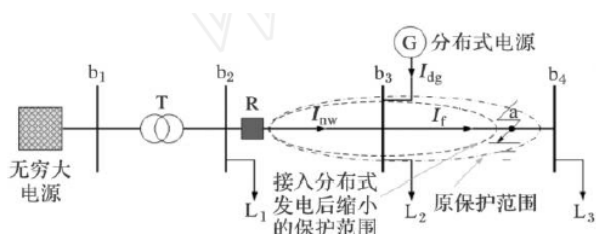


图4 分布式电源接入配电网对于距离保护的影响

1.3 DG 对重合闸影响

配电网的故障 80%~90%的部分是瞬时性的。重合闸的应用对提高系统供电可靠性，减少电网维护工作量有着相当重要的作用。当 DG 接入配电线路后，如果线路因故障跳闸后， DG 极有可能在重合闸动作时没有跳离线路，这将产生两种潜在的威胁。

1) 非同期重合闸。由于电网电源的失去， DG 很难与电网保持完全同步。在电网电源跳开后至重合闸时的这段时间内，两者之间的相角差可能出现在 $0\sim360^\circ$ 之间的任何一个位置，这将造成检同期合闸失败，从而引起不必要的停电；如果自动重合闸装置没有检同期的功能，则一旦重合，冲

击电流将可能损坏 DG ，同时电网也会出现高电压和大电流的暂态过程，图 1.5 展示了相差为 60° 的非同期合闸时所检测到的冲击环流。

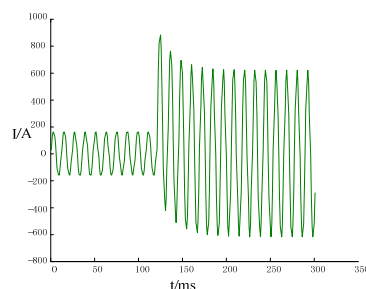


图5 非同期合闸产生的故障暂态电流

2) 故障点电弧重燃。在失去电网电源后，故障点可能由于 DG 的维持而没有消除。当进行重合闸时，由于电网电源的作用，可能引起故障电流跃变，引起故障点电弧重燃，导致绝缘击穿，进一步扩大事故， DG 提供故障电流使故障点无法熄弧，可能使暂时性故障变成永久性故障。

1.4 孤岛运行

配电网中的故障通常由距离故障地点最近的保护继电器清除。如果故障发生在 DG 接入点上游， DG 会为已经从配电网隔离的部分负荷提供电能，如果分布式电源的容量不足以提供额外增加的负荷，就会出现过载现象，电压和频率会逐渐降低并最终导致停机。但也有可能分布式电源的容量足够为解列后的孤岛系统提供全部负荷所需电能。如果与主电网隔离的孤立系统，负荷用电全部由分布式电源提供，此种情况称为孤岛运行或孤岛。

孤岛运行可能造成如下危害：

1) 电网维护人员可能由于孤岛运行而误接触带电导体发生触电事故。

2) 与电网供电相比，分布式电源供电的孤岛系统的电能质量无法保证，特别是电压重量和频率质量。

3) 配电网的继电保护系统通常都配备自动重合闸装置，在故障发生一定时间后，一旦自动重合闸动作，可能造成仍然处于孤岛运行状态的电网由于非同步合闸而造成故障进一步扩大，并且延缓供电恢复的时间。

综上所述，一般电网规程要求分布式电源与配电网的公共接入点在检测到孤岛状态时，断开分布式电源与电网的连接。

2 DG 接入概况

2.1 项目周边电网概况

垃圾焚烧发电厂设四台焚烧炉和两台 20MW 凝汽式汽轮发电机组，如图 6 所示，垃圾电厂周边电网以 220kV 山江变、高旺变为中心，联络顶山变、北门变、开发区变等 110kV 变电站和各 35kV 变电站。其中垃圾电厂位于 35kV 供电区，附近可供接入的系统变电站有 2 座，为 220kV 高旺变和 110kV 瓦殿变。

220kV 高旺变电站位于垃圾电厂东侧，电压等级 220/110/35kV，主变容量为 2×120MVA，220/35kV 侧采用单母线分段接线，110kV 侧采用双母线接线，具备接入条件；110kV 瓦殿变位于垃圾电厂东北侧，主变容量 2×31.5MVA，电压等级

为 110/35/10kV，110/35/10kV 侧均采用单母线分段接线，电气主接线如图 7，具备接入条件。

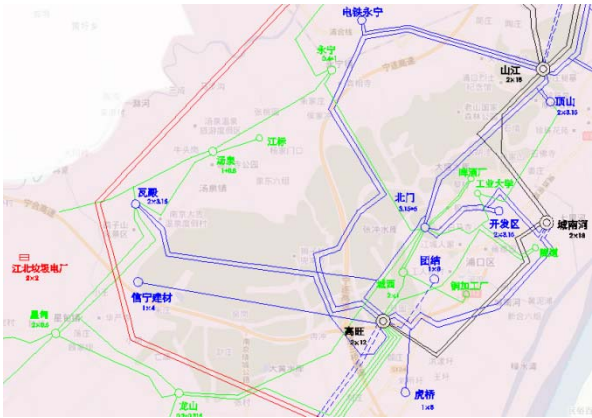


图6 周边电网地理接线图

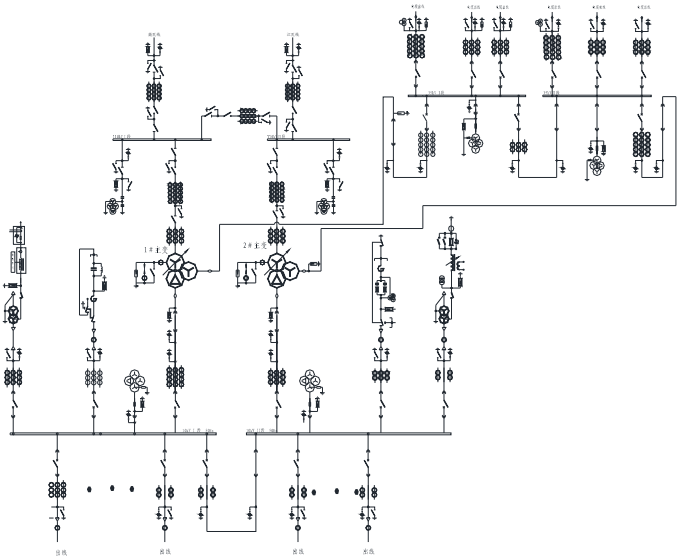


图7 110kV瓦殿变主接线示意图

2.2 一次接入方案



图8 一次接入系统方案示意图

如图8所示，根据《配电网规划设计技术导则》要求，110～35kV电源接入配电网，宜采用专

线方式，因此江北垃圾电厂采用两回专线接瓦殿变的35kV两段母线。考虑到220kV城南河变的投运，将形成城南河和三江变之间的110kV联络，因此可断开三江变和高旺变之间的110kV联络，断开点选在图中红圈位置，形成瓦殿变至高旺变的双回110kV专线。

3 接入方案设计

3.1 二次接入方案

1) 220kV 城南河变

城南河变至高旺变每回 220kV 线路在城南河变侧配置双套光纤分相电流差动保护，与高旺变侧保护装置型号一致。

2) 220kV 高旺变

高旺变至城南河变每回 220kV 线路在城南河变侧配置双套光纤分相电流差动保护,与城南河变侧保护装置型号一致。

高旺变 220kV 母线配置单套具备失灵保护功能的母差保护。

高旺变至瓦殿变双回 110kV 线路均配置单套光纤分相电流差动保护装置,与瓦殿变保护装置型号一致,并设置检无压的三相一次重合闸。

3) 瓦殿变

瓦殿变至高旺变双回 110kV 线路均配置单套光纤分相电流差动保护装置,与高旺变保护装置型号一致,三段式定时限过电流保护作为后备保护。

瓦殿变 110kV 母线配置单套具备失灵保护功能的母差保护。

瓦殿变 1#、2#主变零序保护及间隙保护各增加一段时限,保护动作第一时限跳电厂双回 35kV 并网线路,第二时限跳主变三侧。

瓦殿变至电厂 35kV 线路配置单套光纤分相电流差动保护,并设置检无压的三相一次重合闸装置;其余 35kV 线路更换为距离保护。

瓦殿变 35kV 母线配置单套具备失灵保护功能的母差保护。

4) 江北垃圾电厂

电厂至瓦殿变 35kV 线路配置单套光纤分相电流差动保护,并设置检同期的三相一次重合闸装置。

在电厂的发电机出口断路器、35kV 并网通道线路断路器设置共 4 处同期点。

解列点设置与同期点相同。在电厂的发电机出口断路器上配置低频、低压解列装置及高频率、高电压切机装置;35kV 并网通道线路断路器设置频率电压异常紧急控制装置。

3.2 二次接入系统方案评估

一是强化高旺变至城南河变 220kV 线路和瓦殿变至高旺变 110kV 线路保护配置,将原有馈线距离保护调整为光纤分相电流差动保护,防止出现由于电厂的接入,短路电流方向变为双向,使得保护丧失选择性。

二是优化瓦殿变主变保护配置,将原有主变零序保护及间隙保护各增加一段时限,第一时限跳开电厂双回 35kV 并网线路,防止出现当瓦殿变上级

电源系统出现故障时,电厂通过瓦殿变主变向故障点倒送故障电流,使得主变中性点电压升高,进而造成设备的损坏,或者使主变保护动作,跳开主变,扩大停电范围的问题。

三是合理配置检同期的三相一次重合闸装置,防止出现冲击电流损坏 DG,以及高电压和大电流的暂态过程。

江北垃圾电厂二次接入方案,调整二次系统配置,很好地避免了 DG 接入对电网二次控制策略的影响,满足了接入要求,为未来 DG 接入电网积累了宝贵设计和运行经验。

4 展望

目前,在分布式电源条件下,配电网仍然沿用了传统的保护控制系统,通过对DG并网运行设定严格的限制,维护配电网保护控制系统正常工作。这种方式很大程度上局限甚至破坏了DG的正常运行,牺牲了DG发电商的利益,不利于分布式电源技术的发展。未来的分布式电源保护控制应该从整个系统的全局出发,借助配电自动化系统的快速故障判断、故障区域隔离、非故障区域恢复供电、分布式电源智能组建微网的功能,实现配电自动化和继电保护的有效配合,从而解决DG接入带来的电网安全性和可靠性等问题,充分发挥DG所带来的经济效益。

参考文献:

- [1] Dugan Roger C, McDermott Thomas E. Operating conflicts for distributed generation on distribution systems[C]//Rural Electric Power Conference, Little Rock, USA:2001.
- [2] Dugan Roger C, McDermott Thomas E. Distributed generation[J]. IEEE Industry Applications Magazine, 2002, 8(2):19-25.

作者简介:

李琳(1982-),女,江苏宜兴人,工程师,主要从事变电设计工作;

吴罡(1981-),男,江苏徐州人,高级工程师,主要从事系统设计工作。