

# 含分布式电源接入配电网故障分析

分布式电源 (Distribution Generator, DG) 作为新兴能源在我国得到了大力推广和广泛普及, 但是大量DG 的并网必然对原配电网的稳定运行和控制带来影响。分析了DG 的分类和对配电网产生的影响, 在此基础上, 也分析了一种配电网的保护方案, 并对原有的保护进行改进。

杨捷 张锐/河南机电高等专科学校电气工程系

刘巍/国网河南省电力公司电力科学研究院电网技术中心



杨捷/副教授

20世纪70年代, 美国的《公共事业管理政策法》正式公布了DG, 并在美国进行了推广<sup>[1-4]</sup>。分布式电源是指依靠分布式能源进行发电并接入到区域配电网的发电方式, 它作为传统集中电源的补充和完善<sup>[5-7]</sup>, 极大地改善了配电网的可靠性、经济型、抗灾性和智能化水平。但是配电网的大量投入, 也对配电网的稳定安全运行提出了更高的要求 and 全新的挑战<sup>[8-10]</sup>。

## 分布式电源

### 1. 光伏发电

光伏发电是当前最具有竞争力的基于可再生能源的分布式发电技术, 光伏电池作为光电转换元件, 通过光电效应或者光化学效应直接将光能转换成直流电能。光伏电池的特性曲线如图1所示。

### 2. 风力发电

风力发电机通过同步或异步电动机将风能转化为交流电能, 为了使风能转化效率达到最大, 风车需要在变化的风

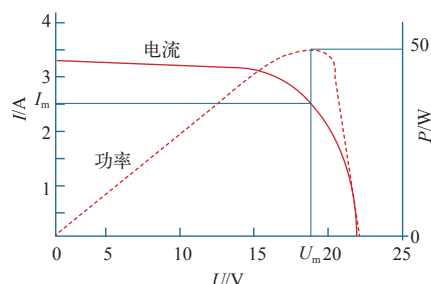


图1 光伏电池的特性曲线

速下运行在输出功率特性曲线中的最大功率点。根据风力发电所采用的发电机类型不同, 发电方式分为笼型异步电动机风力发电、双馈异步电动机风力发电和直驱式同步电动机风力发电。主要在于如何解决电动机定子同步频率和电网频率的同步问题。风力机输出功率-风速机角速度关系曲线如图2所示。

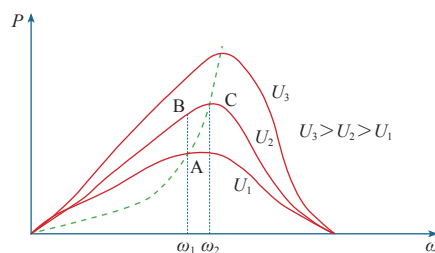


图2 风力机输出功率-风速机角速度关系曲线

### 3. 微型燃气轮机发电

微型燃气轮机发电系统如图3所示, 其容量范围一般为30~500 kW, 通常为定功率方式采用变流器并网, 可实现有功和无功功率的独立控制。



图3 微型燃气轮机发电系统

关键词/Keywords

分布式电源·

配电网·

电流保护·

2013年度河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目 (2013GGJS-201)。

## 分布式电源接入配电网对电流保护的影响

### 1. 分布式电源的故障电流特性分析

分布式电源分为变流器类型分布式电源和电动机类型分布式电源。由于变流器和电动机输出特性的差异,因此它们对配电系统故障的响应特性不同,故障分析模型也不同,各发电机的短路故障响应特性如图4~图6所示。因此,更应简化模型以分析分布式电源对配电网故障可能的最大短路电流水平。

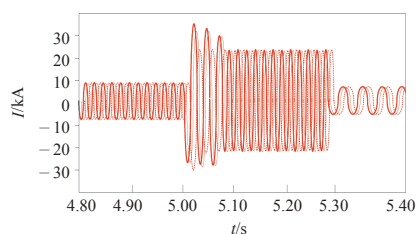


图4 同步电动机的短路故障响应特性

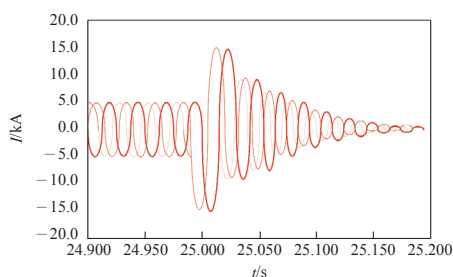


图5 笼型异步电动机的短路故障响应特性

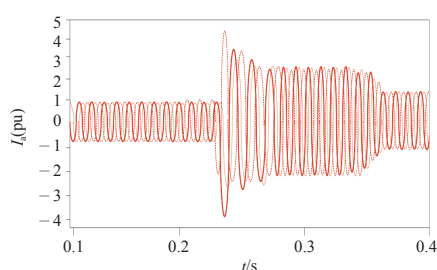


图6 双馈异步电动机的短路故障响应特性

分布式发电通过同步电动机或异步电动机直接连接到电网的电源属于电动机类型电源,通过同步电动机并网的转子速度必须与并网点的电压同步转速相同,发出的有功功率受控于原动机的调节器,发出的无功功率受控于电动机励磁水平,通过笼型异步感应电动机发电时,转子转速必须略高于所连接电网的同步转速,否则会从电

网吸收功率。异步电动机发出的有功同样受控于原动机调节器,而始终从电网吸收必要的无功功率。双馈异步电动机则采用绕线式绕组,定子绕组和转子绕组都可以与电网交换功率。

### 2. 传统保护基本原理分析

我国中低压电网传统保护使用三段式电流保护,即电流速断保护、限时电流速断保护和过电流保护。分布式电源的加入,改变了原电网潮流单行流动的结构方式,且容量越大,影响越大。

电流速断保护反应于短路电流幅值增大而瞬时动作,简单可靠,动作迅速,但是当系统运行方式变化较大或者被保护线路的长度过短时,则该保护没有保护范围。

限时电流速断保护用来切除本线路上速断保护范围以外的故障,同时也能作为速断保护的后备保护。

过电流保护作为下级线路主保护拒动作和断路器拒动作时的远后备保护,也作为本线路主保护拒动作时的近后备保护,同时还作为过负荷时的保护,在电流的幅值超过最大负荷电流值时起动。

分布式电源接入配电网增加了系统电源来源,使原本单电源的辐射网络变成多电源的网络,系统的电路电流由于DG的接入容量和位置而受影响,同时影响无功功率和电压分布,因此造成原系统误动作或拒动作。由于分布式电源的容量对加入配电网系统稳定性有很大的影响,容量小的DG对配电网影响较弱,随着分布式电源容量的增加,则可能导致传统的三段式电流保护误动作,从而造成系统不稳定。

### 3. 不同类型DG故障电流注入能力

DG接入配电网,与系统同时向故障处提供短路电流,通常故障期间DG可用电流串联电抗模型来表示。由于电源不同,则电抗值不同。不同类型DG的故障电流注入能力如表1所示。

### 4. 算例分析DG容量对传统配电网电流保护影响

采用Matlab/Simulink软件建立简单的10 kV配电网模型,如图7所示。

具体参数如下: $S_B = 10.5 \text{ MV}\cdot\text{A}$ ,  $U_B = 10.5 \text{ kV}$ ,  $E_S = 10 \text{ kV}$ 。

表1 不同类型DG的故障电流注入能力

| DG类型  | 故障电流注入能力                      |
|-------|-------------------------------|
| 逆变电源  | 100%~400%，持续时间取决于控制装置         |
| 同步电动机 | 500%~1 000%，几个周波后衰减到200%~400% |
| 感应电动机 | 500%~1 000%，在10个周波内衰减至可忽略     |

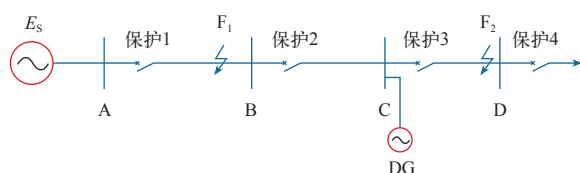


图7 配电网模型

电流速断保护和限时电流保护整定值如表2、表3所示。

表2 电流速断保护整定值

(单位: A)

| 保护段 | 保护4   | 保护3   | 保护2   | 保护1   |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 整定值 | 1 381 | 2 336 | 4 479 | 8 803 |

表3 限时电流保护整定值

| 保护段   | 保护3   | 保护2   | 保护1   |
|-------|-------|-------|-------|
| 整定值/A | 1 519 | 2 570 | 4 927 |
| 灵敏度   | 1.2   | 1.2   | 1.2   |

计算故障时DG接入配电网各保护的电流值如表4所示。

表4 接入分布式电源后短路电流值

| SDG/(MV·A) | 故障点   | $I_{DG}/A$ | $I_1/A$ | $I_2/A$ | $I_3/A$ |
|------------|-------|------------|---------|---------|---------|
| 0.0        | $F_1$ | 0          | 7 042   | 0       | 0       |
| 1.0        | $F_1$ | 241        | 7 042   | 232     | 18      |
| 2.0        | $F_1$ | 500        | 7 042   | 481     | 35      |
| 4.0        | $F_1$ | 1 021      | 7 042   | 984     | 65      |
| 0.0        | $F_2$ | 0          | 1 869   | 1 869   | 1 869   |
| 1.0        | $F_2$ | 89         | 1 730   | 1 730   | 2 024   |
| 2.0        | $F_2$ | 193        | 1 469   | 1 469   | 2 327   |
| 4.0        | $F_2$ | 437        | 1 363   | 1 363   | 2 466   |

由此分析可知:当故障点在 $F_1$ 处时,系统和分布式电源共同提供故障电流,保护2感受到DG提供的故障电流,DG提供的电流逐渐增大,保护2的逆向电流也随之增加,直到电流值大于保护3速断保护的整定值。

当故障点在 $F_2$ 处时,随着DG容量增大,流过DG下游保护的故障电流也增大,从而导致过电流保护失灵而误动作。同时,流过保护1和保护2的

电流由于DG的加入而减小,从而导致保护范围缩小。当分布式电源容量增加,短路电流流过保护3的电流值达到其电流速断保护整定值时,该线路速断保护动作,保护3的保护范围将延伸到下一级,随着DG容量越来越大,助增能力也随着增强,则本线路保护逐级延伸到下一级,因此保护的选择性得不到满足。

### 5. 重合闸的影响

大多数线路故障都是瞬发性故障,为达到快速恢复供电保护,通常需要重合闸的配合。当DG加入时,使原单一网络变成双端或多端网络,重合闸动作前必须保证DG已经停止动作。当保证重合闸闭合时,电弧重燃,使重合闸不成功。

## 含分布式电源配电网保护方案

配电网对分布式电源的影响较大,如果改变配置来适应DG的投入,则对配电网来说有巨大的经济浪费。因此,在尽量减少改变配电网结构的基础上,对DG加入的配电网采用下面的保护方案,如图8所示。

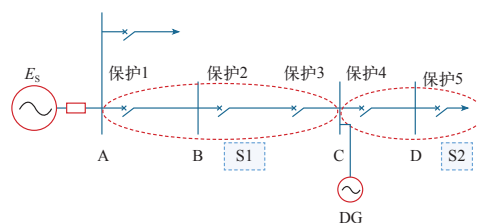


图8 保护配置方案

本文在基于保护原配电网的保护方案基础上,对加入一DG的系统进行改进,并且继续使用原有的过电流保护。

本方案根据DG接入的位置将馈线2分成两个区域:S1为分布式电源上游区域;S2为分布式电源下游区域。在DG接入点的下游侧加装断路器和保护装置5,S1中保护1和保护3处采用方向纵联保护。在保护2和保护1处配置带有方向元件的定时限过电流保护。S1内故障时方向纵联保护将瞬时动作保护整个区域;当区域S1发生故障时,在保护1和保护3处配置重合闸;当保护1处的断路器跳闸后,将启动保护1处的重合闸以恢复系统运行。

但此时保护3处断路器仍然处于断开状态，只有判定保护1故障为瞬发性故障，才能由保护1来启动重合闸以达到保护功能，由于此时线路两侧的保护可能以不同的实现动作于跳闸，保护1侧断路器断开后，不会造成非同期合闸，因此，保护5采用检定同步的重合闸。当S1发生瞬时性故障时，那么重合闸动作启动后会恢复供电；当发生永久性故障时，则由保护2或保护1的配合，选择性地将故障切除。S1区域由方向纵联保护和过电流保护配合使用；S2与原配电网结构相同，仍采用原三段式电流保护进行重新整定。

对于没有接入DG的馈线1，仍然按照传统的重合闸前加速保护和重合闸后加速电流保护进行整定。

## 结束语

本文分析了DG接入对配电网的影响，其容量和接入位置都是影响因素。对于DG下游的保护，根据系统容量和DG的容量重新整定；对于DG上游的保护，需加装可靠控件，提高了配电网的安全稳定性。

## 参考文献

- [1] 郑漳芊. 微电网的研究现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2008, 32(16): 27-31.
- [2] 刘健, 董新洲, 陈星莺. 配电网故障定位与供电恢复[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

- [3] Edwin Haesen, Cindy Bastiaensen, Johan Driesen, et al. A probabilistic formulation of load margins in power systems with stochastic generation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009, 24(2): 951-958.
- [4] Hansen A D, Jauch C, Sorensen P, et al. Dynamic wind turbine models in power system simulation tool DIGSILENT[J]. Roskilde, Denmark: Riso National Laboratory, 2003.
- [5] 张尧, 钱国基, 吴萍, 等. 非直接接地系统两相接地故障的单端测距[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2001, 29(10): 33-37.
- [6] 刘健, 张志华, 黄炜, 等. 分布式电源接入对配电网故障定位及电压质量的影响分析[J]. 电力建设, 2015, 36(1): 115-121.
- [7] 巨云涛, 吴文传, 张伯明, 等. 分布式电源内阻抗引发前推回代潮流发散的问题[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6185-6190.
- [8] 靳小龙, 穆云飞, 贾宏杰, 等. 面向最大供电能力提升的配电网主动重构策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(12): 137-147.
- [9] 卞栋, 卫志农, 黄向前, 等. 电力市场中含分布式电源的配电网重构模型[J]. 电力系统保护与控制, 2013(11): 117-123.
- [10] 宫林国, 高亮, 王贺磊. 含分布式电源的配电网保护方案研究[J]. 陕西电力, 2014, 42(1): 32-36.

(收稿日期: 2015-01-10) **EA**

(上接第84页)

算和分析得出，在配电线路较长时就应注意校验线路开关保护灵敏性。若不满足灵敏性要求，应采取适当的措施提高保护的灵敏度。开关的动作灵敏性必须符合要求，特别是在火灾爆炸危险场所，潮湿、高温和多灰尘等环境，应给予特别重视。

配电线路过长不仅需要校验单相接地的灵敏度，还需考虑线路电压损失。尤其在多级配电情况下，电压损失条件趋强，而灵敏度条件趋弱。因此，在设计过程中，配电线路较长时，要注意

校验灵敏度及计算电压损失。

## 参考文献

- [1] 王厚余. 建筑物电气装置500问[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] GB 50054—2011 低压配电设计规范[S].

(收稿日期: 2015-04-28) **EA**