

分布式电源对配电网稳态电压分布的影响

钟 杰

(连云港供电公司, 江苏 连云港 222003)

摘 要: 随着能源和环境的压力越来越大, 分布式电源作为一种清洁高效的可再生发电技术得到了广泛的应用。作为对传统集中式供电的补充, 分布式发电可以有效解决传统供电方式的很多难题。但分布式电源的接入同样引起了很多问题, 分布式电源接入后电网结构和运行方式都发生了一定变化。本文采用基于灵敏度矩阵的前推回代潮流算法仿真分析了分布式电源的容量以及并网地点变化时对配电网稳态电压分布的影响。

关键词: 分布式电源; 电压分布; 灵敏度矩阵; 前推回代法

0 引言

电能质量是指供用电设备正常工作或运行的电流、电压的各种指标偏离额定值的程度, 主要包括: 频率偏差、电压偏差、电压波动、波形畸变、电压暂降以及瞬时过电压等^[1]。分布式电源 (distributed generation, DG) 作为一种安装在负荷附近的发电装置, 接入系统后将使配电网的网络结构和运行方式发生变化, 对系统电能质量会产生一定的影响。DG接入后线路上的潮流分布将发生改变, 从而配电网的电压分布和电压偏差也将相应的发生一定变化^[2~4]。本文以 10kV 配电网为例, 采用基于灵敏度矩阵的前推回代法仿真分析了分布式电源并网地点以容量的变化对配网电压分布的影响。

1 分布式电源并网对稳态电压的影响

在负荷较稳定的情况下, 分布式电源接入后, 由于分布式电源输出功率的支撑作用, 线路上传输的功率减少, 线路上的电压降减小, 线路上各节点电压升高。而电压升高多少则与分布式电源的容量、功率因数和接入的位置等因素有关。图 1 和图 2 分别为一个典型的辐射型配电网馈线示意图和 DG 接入前后馈线电压分布曲线。

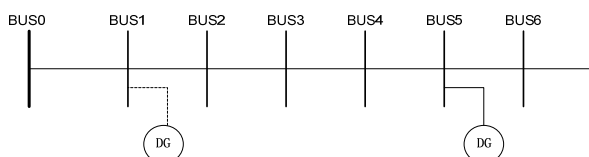


图 1 辐射型配电网馈线

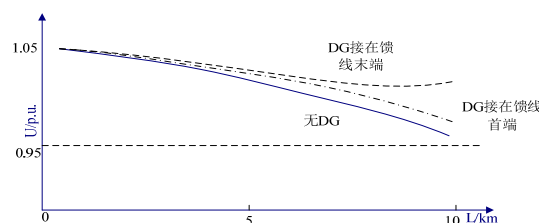


图 2 DG 接入前后电压分布图

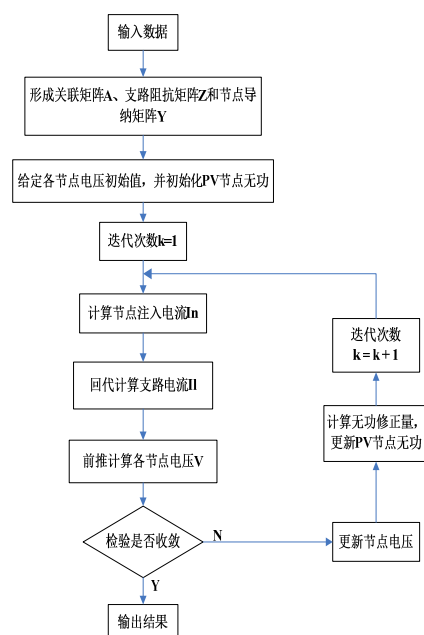


图 3 含分布式电源的前推回代法潮流程序框图

分布式电源接入后使配电网由一个无源网络变成了一个含有不同类型和不同容量电源的有源网络, 且分布式电源类型的差异性使其在潮流计算中的模型也呈现多样性, 并与传统发电机组计算模型有所不同, 这些都使配电网的潮流计算变得更为复杂。目前, 关于含分布式电源系统的潮流计算, 已

有很多学者进行了研究^[5~8]。通过综合比较各种算法的优缺点，本文选取基于灵敏度矩阵的前推回代法作为含分布式电源系统的潮流算法。见图 3。而按照相关规定，DG并网后应尽量不参与系统的频率调节，即DG输出的有功功率恒定，因此在潮流计算过程中可设定DG运行在恒定有功功率模式，而DG的无功功率和电压的运行模式需要根据具体的情况分析^[7]。

2 算例分析

2.1 配电网和负荷模型

考虑到目前我国城乡配电网仍以辐射状链式结构为主，因此，仿真算例采用文献^[9]中的辐射状配电网模型。沿馈线将每一集中负荷作为一个节点并编号，等效电网的母线设为BUS0，其他节点按远离等效电网的方向依次编为BUS1、BUS2、BUS20，形成如图 4 所示的配电网。

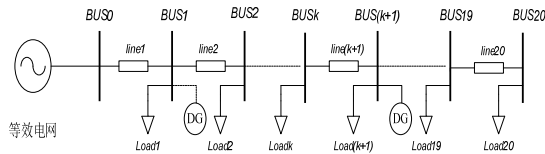


图 4 含 DG 的链式配电网结构图

等效电网的母线电压为 $V_{BUS0} = 1.02$ (p.u.)，系统电压基值 $V_{base} = 10kV$ ，基准容量

$S_{base} = 10MVA$ ，负荷及 DG 的出力均为基于 S_{base}

的标么值。为方便研究，馈线上各节点负荷均采用三相对称的恒功率静态模型；由于系统电压等级较低，且馈线较短，因此三相线路间的互感忽略不计，只考虑线路的串联电阻和电抗。系统总的有功功率负荷为 0.4963p.u.，无功功率负荷为 0.5067p.u.。

2.2 分布式电源的位置和容量对稳态电压分布的影响

分布式电源的容量以及安装在馈线上的位置不同时，会对馈线上的潮流分布产生不同的影响，潮流分布改变将导致馈线上电压分布发生变化。以图 4 所示的配电网为研究对象，采用基于灵敏度矩阵的前推回代潮流算法，分析分布式电源在馈线上的位置以及容量不同时对馈线稳态电压分布的影响。

分布式电源容量和接入位置分别按表 1 和表 2 所示的方式变化。其中分布式电源以滞后的功率因数 0.95 运行。

表 1 分布式电源容量变化及其渗透率

容量变化	1	2	3	4
DG 总容/ MVA	2	3	4	6
渗透率/%	40	60	80	120

表 2 分布式电源在馈线上的安装位置

方式	1	2	3	4
DG 位置	BUS2	BUS10	BUS18	BUS2、7、12、18

其中，方式 4 中将 4 个相同容量的 DG 分别同时安装在 4 条母线上。

按表 1 和表 2 所示的变化方式分别进行仿真，结果如下。

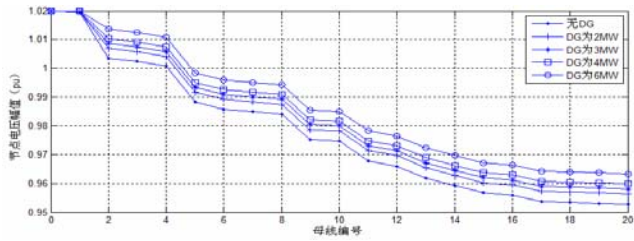


图 5 不同容量的 DG 安装在 BUS2 时的节点电压曲线

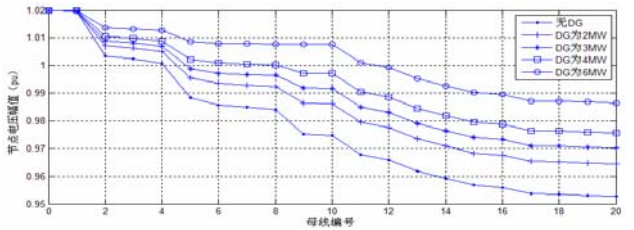


图 6 不同容量的 DG 安装在 BUS10 时的节点电压曲线

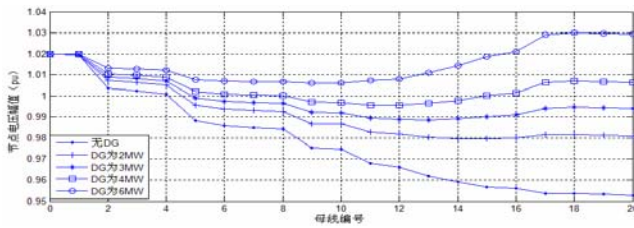


图 7 不同容量的 DG 安装在 BUS18 时的节点电压曲线

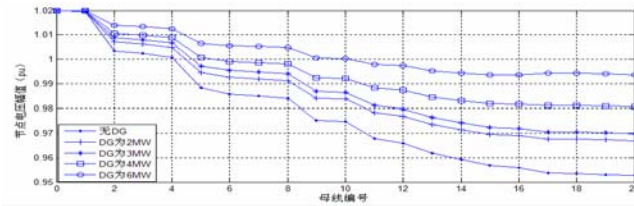


图 8 不同容量的 DG 同时安装在 BUS2、7、12、18 时的节点电压曲线

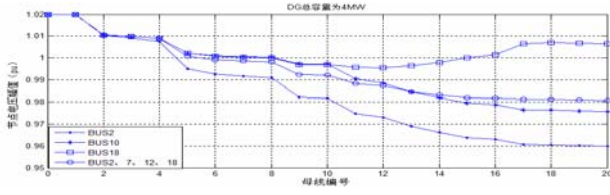


图 9 相同容量的 DG 安装在不同的母线时的节点电压曲线

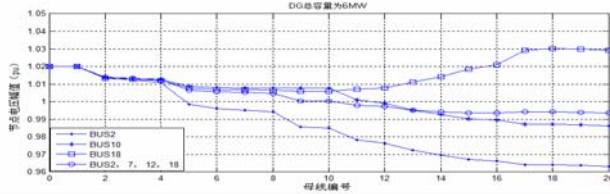


图 10 相同容量的 DG 安装在不同母线时节点电压曲线

图 5 到图 10 显示了不同容量的 DG 安装在相同的位置以及相同容量的 DG 安装在不同位置时对馈线节点电压稳态分布的影响。DG 接入系统后，由于 DG 输出有功和无功功率的支撑作用，系统线路上传输的有功和无功潮流减小，线路上的电压降落减小。因此，相比于无 DG 的情况，DG 的接入使稳态时系统各节点电压升高，远离系统安全运行的最低限值，甚至会使部分节点的电压高于系统母线电压成为电压最高点，并接近系统允许的最大值。而且，当 DG 的位置及其容量不同时其对节点电压的影响是不同的。为衡量 DG 接入后对节点电压的影响，定义电压变化指标 $\varepsilon 1$ 和电压质量指标 $\varepsilon 2$ ，即：

$$\varepsilon 1 = \frac{U'_n - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (1)$$

$$\varepsilon 2 = |U'_n - 1| \times 100\% \quad (2)$$

其中， U'_n 为 DG 接入后的节点电压， U_n 为 DG 接入前的节点电压， n 为节点编号。

指标 $\varepsilon 1$ 的大小反应了节点电压变化的程度，

$\varepsilon 1$ 越大，说明该节点电压变化越大，即受 DG 的影响越大。但从电压质量的角度，稳态时节点电压越接近额定电压越好，而并不是越高越好，指标

$\varepsilon 2$ 的大小反应了 DG 接入后节点电压与额定电压的距离， $\varepsilon 2$ 越大，则节点电压偏离额定电压越多，相反， $\varepsilon 2$ 越小，则节点电压越接近额定电压。不同容量不同位置的 DG 接入馈线后对节点电压分布曲线主要有以下影响：

1) 由式 (1) 可得，在线路参数一定时，线路上的电压降落取决于线路上传输的有功和无功功率，系统中接入 DG 后，由于 DG 输出有功和无功功率的支撑作用，线路上传输的功率减少，电压降落减小，与没有 DG 的情况相比较，馈线整体电压水平升高。而且，馈线整体的节点电压水平随 DG 容量的增加而升高，DG 总容量越大，渗透率越高，线路整体的电压水平就越高。

2) DG 容量相同情况下，DG 对电压稳态分布的影响取决于 DG 的位置，当 DG 安装在线路末端时对节点电压支撑效果明显要好于安装在线路首端和中部等比较靠近系统母线的地方。DG 安装在线路末端时 $\varepsilon 1$ 最大值为 8.05%，而 DG 安装在首端时只有 2.96%。因此，从对节点电压支撑效果考虑，应将 DG 安装在靠近馈线末端的节点上，但是从改善电压质量的角度考虑时，DG 分散安装在馈线上时要好于集中安装在某一个节点。

3) 从图 7、9 和 10 可以看出当 DG 容量大于其下游负荷容量时，DG 将向系统侧输送功率，馈线上出现逆向潮流，节点电压沿馈线方向呈先下降后上升的趋势，电压最低点出现在馈线中部，整条馈线电压曲线呈 V 形。线路末端电压不再是电压最低点，当 DG 容量足够大时，甚至会使末端电压超过系统母线电压，成为电压最高点。

4) 考虑到 DG 的出力一般会受到环境的影响产生波动，当 DG 的接入对节点电压影响较大时，

即 $\varepsilon 1$ 较大，节点电压将会随 DG 出力的波动而变得不稳定。因此，在选择 DG 安装位置时应把 DG 出力容易受环境影响的因素考虑进去。

2.3 分布式电源功率因数变化对馈线稳态电压分布的影响

无功功率作为影响电压的一个重要因素，因

此,有必要考虑 DG 并网后输出无功功率的变化对节点电压的影响。在 DG 容量一定的情况下,输出无功功率的变化意味着 DG 功率因数的变化,因此,这里分析 DG 功率因数的变化对馈线稳态电压分布的影响。为减小 DG 输出无功功率对节点电压的影响,有关规定建议 DG 运行在较高的功率因数,因此,假设 DG 的功率因数分别为 1.0、0.95(滞后)和 0.9(滞后)。前面已经分析过不同容量和不同位置的 DG 对节点电压的影响,因此,这里只研究 DG 容量为 4MVA 且恒定的情况下,分别安装在线路首端和末端时,功率因数的改变对馈线节点电压的影响。

节点电压随 DG 功率因数的变化曲线如下图所示:

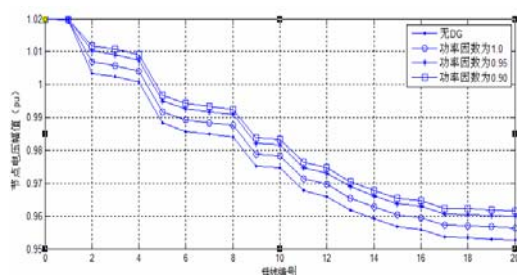


图 11 不同功率因数的 DG 安装在馈线首端时节点电压曲线

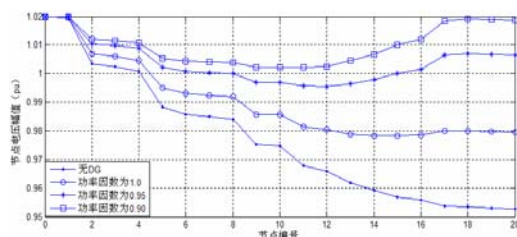


图 12 不同功率因数的 DG 安装在馈线末端时节点电压曲线

从图 11 和图 12 可以明显看出,在 DG 容量一定的情况下,功率因数的大小对节点电压的影响非常显著。当功率因数从 1.0 减小为 0.95 时, DG 安装点的电压幅值从 0.98 升高到 1.021, ε_1 增加了 4.1%。虽然功率因数减小时, DG 输出的有功功率减小,但输出的无功功率增加,电压水平上升。因此, DG 输出无功功率对电压的影响比有功功率的影响要大。在功率因数逐渐从 1.0 降到 0.9 的过程中, DG 输出无功功率逐渐增加,线路上电压降也不断减小,电压曲线上移,节点电压整体水平升高。当 DG 安装在馈线首端时,馈线潮流方向不

变,整体电压曲线呈下降趋势,无功功率的改变对节点电压影响较小。而当 DG 安装在馈线末端时,随着 DG 发出无功功率的增加,当 DG 发出的无功功率大于接入点负荷吸收的无功功率时,无功功率将逆向传输,节点电压呈先下降后上升的趋势,整体电压曲线呈 V 形。

由上面的仿真分析可得出以下结论:

1) DG 的接入使得系统节点电压升高,因此,为保证馈线电压正常,系统电压设置和原有的调压措施和设备要做适当的调整,以适应 DG 接入后对电压的改变;

2) 对于出力易受环境影响的 DG,应尽量安装在线路首端或配置储能装置,减少 DG 出力变化对节点电压的影响;

3) 从电压质量的角度考虑时, DG 分散安装在线路上对电压质量的改善效果要明显好于其他方式;

4) DG 输出无功功率对电压的影响比较显著,为减少 DG 接入后对电压的影响, DG 应以较高的功率因数运行,多发有功功率,少发无功功率。

3 结论

分布式发电是一种新兴的发电技术,可对传统的集中式供电进行有效的补充,具有广泛的应用前景。但分布式电源的接入同样引起了很多问题,本文采用基于灵敏度矩阵的前推回代法仿真分析了分布式电源容量以及并网地点的变化对配网稳态电压分布的影响。分布式电源的接入使配电网稳态电压分布具有一定的改善作用,且分布式电源的容量和接入点不同时分布式电源对稳态电压分布的影响也不同。

参考文献:

- [1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 钱科军, 袁越. 分布式发电技术及其对电力系统的影响[J]. 继电器, 2007, 35(13): 25-29.
- [3] 孙云莲, 胡雯. 浅析分布式电源并网对电能质量的影响[J]. 高技术与产业化, 2009, 12: 76-78.
- [4] 韦钢, 吴伟力, 胡丹云. 分布式电源及其并网时对电网的影响[J]. 高压技术, 2007, 33(1): 36-40.

- [5] 欧阳武. 含分布式发电的配电网规划研究[D]: [博士学位论文]. 上海交通大学, 2009.
- [6] Thomson M, Infield D. G.. Network power flow analysis for a high penetration of distributed generation[J]. IEEE Transactions on power systems, 2007, 22(3): 1157-1162.
- [7] 陈海焱, 陈金富, 段献忠. 含分布式电源的配电网潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 35-40.
- [8] 张立梅, 唐巍. 计及分布式电源的配电网前推回代潮流计算[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 123-130.
- [9] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 56-60.

作者简介:

钟 杰 (1985-), 男, 江苏连云港人, 助理工程师, 从事继电保护相关工作, E-mail: zhongjie302@126.com。