

分布式发电接入配电网后对系统电压及损耗的影响分析

张立梅^{1, 2}, 唐巍¹, 赵云军¹, 王少林¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 河北农业大学信息科学与技术学院, 河北 保定 071001)

摘要: 针对分布式电源 (Distributed Generators, DGs) 类型的多样性及其接入对配电系统影响的差异性, 研究了不同类型的 DGs 在接入位置、接入容量发生变化时对系统电压及网损影响的变化规律。通过对不同类型 DGs 的分析处理, 运用改进前推回代法潮流计算程序对其接入辐射状配电网前后的电压分布、有功损耗进行精确计算, 并采用系统电压改善程度、有功损耗改善程度指标来评价不同类型 DGs 对系统电压和网损的影响程度。通过 IEEE33 节点系统的仿真试验, 全面总结了不同类型 DGs 在配电网中接入位置、出力、布局等方面改变时电压及功率损耗的变化规律。

关键词: 分布式电源; 前推回代法; 电压分布; 有功损耗; 配电网

Analysis of DG influences on system voltage and losses in distribution network

ZHANG Li-mei^{1,2}, TANG Wei¹, ZHAO Yun-jun¹, WANG Shao-lin¹

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. College of Information Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: According to the diversities of DGs and the differences of its influences on the distribution networks, this paper studies on the change law of system voltage and active power losses when all kinds of DGs are connected to the distributed networks on the condition of different access capacities and different access positions. Based on the improved back/forward sweep methods, the voltage distribution and active power losses before and after accessing to radiating distribution network are calculated corresponding to different types of DGs. The Voltage Profile Improvement Index (VPII) and Active Power Loss Improvement Index (APLII) are adopted to evaluate the DGs influences on the system voltage and net losses of distribution networks. Plenty of simulations are carried out on the IEEE33 bus test system. The results show the change law of voltage and active power loss when accessing locations, output and layout of different types of DGs are changed.

Key words: distributed generation; back/forward sweep methods; voltage profile; active power loss; distribution network

中图分类号: TM711; TM 727.2; TM 91 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)05-0091-06

0 引言

分布式发电 (Distribution Generation, DG) 与大电网供电相互补充、协调, 是综合利用现有资源和设备, 为用户提供可靠和优质电能的最佳方式^[1-2]。然而, DG 的接入改变了配网的结构, 使配电网馈线中传输有功、无功数量和方向发生改变, 随之将引起配电网节点电压分布及网络损耗的变化^[3], 这种变化与 DG 的类型、DG 接入位置、接入容量等有着密切的关系。

目前, 有关 DG 接入对配电网电压和损耗影响的

研究已有一些研究成果。如文献[4]通过分析 DG 对配电网电压分布的影响, 总结了 DG 正确接入位置和出力限制等运行规律, 但是只考虑了 PQ 类型分布式电源 (DGs)。文献[5]基于双母线模型, 给出了分布式电源接入前后负荷节点电压的变化, 但只研究了单个分布式电源的情况。文献[6]分析了不同形式 DG 并网对馈线段电压分布的影响, 但并未给出其详细的变化规律。文献[7]利用馈线分段分析法对光伏发电接入特定的馈线时损耗如何变化的情况进行了研究。文献[8-9]研究了 DGs 接入位置对系统损耗的影响, 而文献[10]研究了 DGs 渗透率对损耗变化的影响。

然而, 目前有关 DG 对配电网电压和损耗影响的研究大都集中在 PQ 类型 DGs, 而没有考虑其我

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAJ04B06); 保定市科学技术研究与发展指导计划 (10ZC002)

他形式的 DGs。随着其他各种不同形式 DG 的并网，是否表现出与 PQ 类型 DGs 相似的特性，有待进一步探索研究。基于此，本文对不同类型 DGs 接入对配网电压及功率损耗的影响进行研究。首先介绍了 DGs 接入配网时常见的几种模型，然后利用改进前推回代算法求解含有不同类型 DGs 的配电网潮流分布，从而得到 DGs 接入辐射状配电网前后电压分布、有功损耗的精确解。并运用系统电压改善程度、有功损耗改善程度指标从系统的观点考查不同类型 DG 对系统电压和损耗的影响程度。通过对 IEEE33 母线系统仿真结果分析，全面总结了不同类型分布式电源在配电网中接入位置、出力、布局等方面改变时电压及功率损耗的变化规律。

1 分布式电源模型及其网络潮流计算方法

由于 DG 使用一次能源的多样性使 DG 技术很多，如风力发电、太阳能光伏、微型燃气轮机、燃料电池等发电形式。DG 技术的多样性使其潮流计算中所采用的模型不一致，但从 DG 接入配网的方式来看^[5,11-12]，DG 在潮流计算中的模型可分为三类：

- (1) P、Q 均恒定的 DGs。该类型 DG 发出的 P 和 Q 是已知的；
- (2) P、V 恒定型 DGs。该类型 DG 发出的 P 是已知的，且接入点的电压幅值 U 是已知的；
- (3) P 恒定而 Q=f(V)型的 DGs。该类型 DG 发出的 P 是已知的，而发出的 Q 和接入点电压幅值 U 并未给出，但知道 Q 与接入点的电压幅值 U 的函数关系式。

考虑到前推回代法是目前配电网适用的潮流计算方法，但其对 P、V 恒定型和 P 恒定、Q=f(V)型 DGs 不能直接求解。本文对前推回代法进行了改进，将所有 DGs 看作负的负荷，具体描述如下：(1) 对 P、Q 恒定型 DGs，除输入数据代入负数外，其他和普通 P、Q 负荷一样；(2) 对 P 恒定、Q=f(V)型 DGs，每次迭代输入的无功数据通过无功与端电压的函数关系式(Q=f(V))计算并取负值；(3) 对于 P、V 恒定型 DGs，假定初始无功，然后在迭代过程中根据迭代电压与已知电压的不匹配量修正无功，其无功修正量采用灵敏度矩阵法^[3]。

2 DG 对电压分布及电网损耗影响指标

为了量化分析 DG 对系统电压、系统有功损耗产生的影响，寻找其影响变化规律及 DG 对配网的贡献，考虑几种情况如不同类型 DG 技术、DG 安装位置、DG 安装容量、DG 布局。分别针对每一种情况计算系统电压改善程度^[13-14]和系统功率损耗改善程度^[13]指标。

系统电压改善程度(η)：是指系统安装 DG 前后系统电压指标之比值，它是反应 DG 对整个系统电压影响程度的指标，值越大表明 DG 对系统电压改善越明显。其公式为：

$$\eta = \frac{\lambda_{wi}}{\lambda_{woi}} \quad (1)$$

式中：下标 woi、wi 分别表示安装 DGs 前和后；系统电压指标 λ 定义为^[14]式(2)。

$$\lambda = \sum_{i=1}^N U_i L_i k_i \quad (2)$$

式中：U_i指负荷节点 i 的电压幅值，但只包括电压不越限时的情况，而当超过电压阈值时取零；L_i是节点 i 的负荷；k_i为各节点的权重因子；N 为系统节点数，且所有权重因子之和等于 1。

系统功率损耗改善程度(r_p)：是安装 DG 前后系统有功功率损耗之比值，值越大表明 DG 降损越好。用公式表示为：

$$r_p = \frac{P_{woi}}{P_{wi}} \quad (3)$$

系统有功功率损耗 P 的表达式为：

$$P = \sum_{j=1}^{NB} I_j^2 R_j \quad (4)$$

式中：NB 是系统支路数；I_j指流过第 j 条支路的电流幅值；R_j指第 j 条支路的电阻。

3 算例分析

采用本文前述改进前推回代潮流计算方法利用 Matlab 2008 在 IEEE33 母线系统上仿真，分析不同类型 DG 在接入位置、容量及布局变化时对系统电压分布和损耗的影响。仿真系统拓扑结构如图 1，系统参数见文献[15]。系统母线电压取为 1.02，基准功率取 10 MVA，电压基值为 10 kV，收敛精度要求满足：ε < 10⁻⁴。

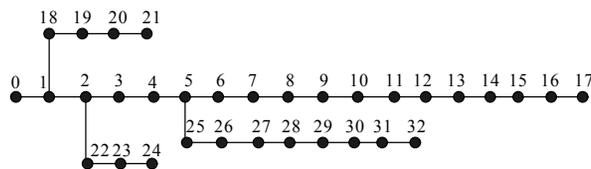


图 1 IEEE33 节点系统

Fig.1 Topological structure for IEEE 30 bus system

3.1 DG 接入位置对电压和网损的影响

为了分析 DG 接入位置对电压和网损的影响，保持 DG 容量不变，DG 分别接入节点 1-17 时，仿真所用 DG 的数据信息如表 1 所示。表中 P 恒定、Q=f(V)型 DGs 的无功函数关系形式采用文献[5]中的同步发电机、异步发电机接入时的函数，如公式

(5) 和式 (6), 其中各参数意义参见文献[5]。

表 1 DG 数据信息

Tab.1 The data for DG

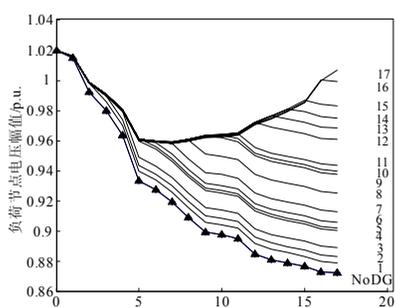
DG 类型	DG 参数 / p.u.
P 、 Q 恒定型	$P=0.0424$ 、 $Q=0.057$
P 、 V 恒定型	$P=0.0424$ 、 $V=1.0$
P 恒定、 $Q=f(V)$ 型	$P=0.0424$ 、 $E_{DGq}=1.0$ 、 $X_d=0.017$ 、 $x_p=3.86$ 、 $x=0.168$

$$Q_{DG}^p = \sqrt{\left(\frac{E_{DGq}V}{X_d}\right)^2 - P^2} - \frac{V^2}{X_d} \quad (5)$$

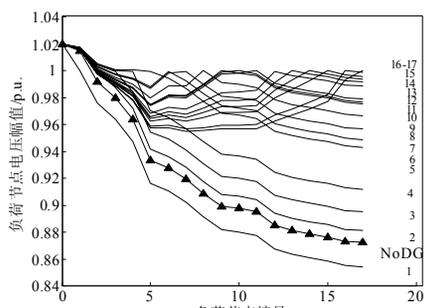
$$Q_{DG}^p = -\frac{V^2}{x_p} + \frac{-V^2 + \sqrt{V^4 - 4P^2x^2}}{2x} \quad (6)$$

3.1.1 DG 接入位置变化对电压的影响

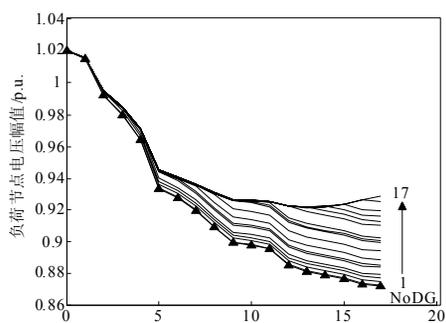
在容量保持不变的情况下, 随着 DG 接入位置的改变, 不同类型 DG 接入配网对系统电压和有功损耗的影响不同, 如图 2、3 所示。通过分析图 2 和图 3 可得到不同类型 DG 接入配网对电压影响的变化规律。



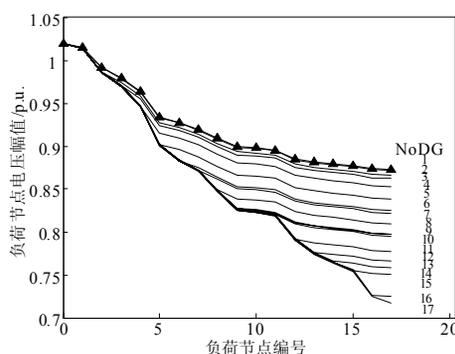
(a) PQ 恒定型 DGs



(b) PV 恒定型 DGs



(c) P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs (发出无功)



(d) P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs (吸收无功)

图 2 DG 接入不同位置时的电压波形图

Fig.2 Voltage profiles according to the change of DGs interconnection location

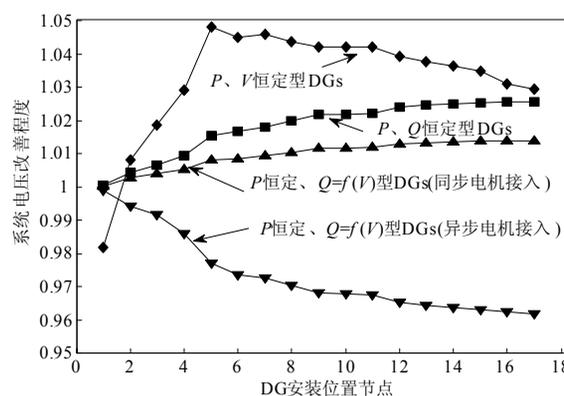


图 3 DG 接入不同位置时系统电压改善程度

Fig.3 Voltage profile improvement index according to the change of DGs interconnection location

(1) DG 的接入会对全网电压产生影响, 但 DG 接入点之后的节点电压波形与无 DG 时的电压波形相同, 这表明 DG 对接入点之前的电压产生较大影响, 而接入点之后电压的变化是由于接入点处的电压升高或降低而导致其升高或降低。

(2) 对于 PQ 恒定型 DGs, 其接入除根节点以外的任何位置都会使全网各负荷节点电压得到提升, 且 DG 接入位置越靠近馈线末端, 系统电压改善的效果也就越明显。

(3) 对于 PV 恒定型 DGs, 它的接入不一定会抬高负荷节点电压, 接入位置不当反而会使负荷节点电压下降 (如图 2 (b) 中 1 曲线), 且它对系统电压的改善程度也表现出了与 PQ 恒定型 DGs 不同的特性, 其最好位置并不是馈线末端。

(4) 对于 P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs, 当采用同步发电机接入时 (发出无功) 会使全网各负荷节点电压得到提升, 系统电压改善程度是接入位置越靠近馈线末端越好。当采用异步发电机接入时 (吸收

无功), 则会使负荷节点电压下降, 且接入位置越靠近馈线末端系统电压改善程度越差。

3.1.2 DG 接入位置变化对损耗的影响

不同类型 DG 分别接入 1-17 节点时对系统有功损耗改善程度如图 4 所示。由图 4 可知, 与没有 DG 时相比, DG 接入是否降低系统损耗与 DG 类型有直接的关系:

(1) 对于 PQ 恒定型 DGs, 其接入除根节点以外的任何位置都会使系统的有功损耗降低, 但其降低程度随着 DG 接入位置沿馈线始端到末端的变化呈现出了先升后降的态势, 且损耗降低最大的位置并不位于馈线末端;

(2) 对于 PV 恒定型 DGs, 它对系统的损耗与接入位置关系密切相关, 接入位置得当会使系统有功损耗降低, 接入位置不当反而会使系统有功损耗增加 (如图 4 中位置 1);

(3) 对于 P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs, 系统的有功损耗是否降低与其无功的函数表达式 $Q=f(V)$ 有关, 当其发出无功时, 其损耗的变化趋势同 PQ 恒定型 DGs 相似。当它从电网吸收无功时, 其接入会使系统损耗增加, 接入位置越靠近馈线末端系统损耗越大。

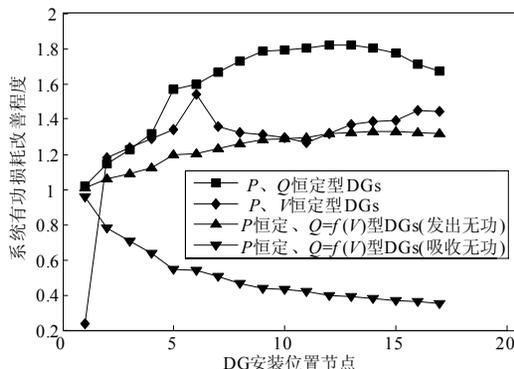


图 4 DG 接入不同位置时的系统有功损耗改善程度

Fig.4 Active power loss improvement index according to the change of DGs interconnection location

3.2 DG 接入容量变化对电压和损耗的影响

为了分析 DG 容量对电压和损耗的影响, 保持安装位置不变 (节点 16), 假定几种 DG 情形 (如表 2)。考虑到当前电网对 DG 渗透率的约束, 对于容量发生变化的情况, 本文只研究其值是从占负荷总需求的 0%按 2%增长量逐渐增加到 30%的情况, 而电压变化范围是额定电压 (1.0) 的 $\pm 5\%$; 对于保持不变的量, 其初始值取为: $P=0.0424$ 、 $Q=0.057$ 、 $U=1.0$ (单位: p.u.)。

表 2 DG 容量变化情况

Tab.2 The information for DG capacity

DG 类型	DG 变化情况
P、Q 恒定型	P、Q 按比例同时变化 (C1)
	P 不变、Q 变化 (C2)
	P 变化、Q 不变 (C3)
P、V 恒定型	P 不变、V 变化 (C4)
	P 变化、V 不变 (C5)
P 恒定、 $Q=f(V)$ 型	P 变化, Q 函数关系式采用式 (4), (C6)
	P 变化, Q 函数关系式采用式 (5), (C7)

大量的仿真实验表明, 在接入位置保持不变的情况下, 不同类型 DG 随着 DG 容量增加各负荷节点电压都会增大, 但对系统电压和损耗的改善程度不同。

3.2.1 DG 接入容量变化对电压的影响

图 5 表示不同类型 DG 在不同容量下系统电压改善程度。由图 5 可知:

(1) 对于 PQ 恒定型 DGs, 无论是有功出力还是无功出力变化, 负荷节点电压都会随着 DG 有功出力、无功出力的增大而得到提升, 且系统电压改

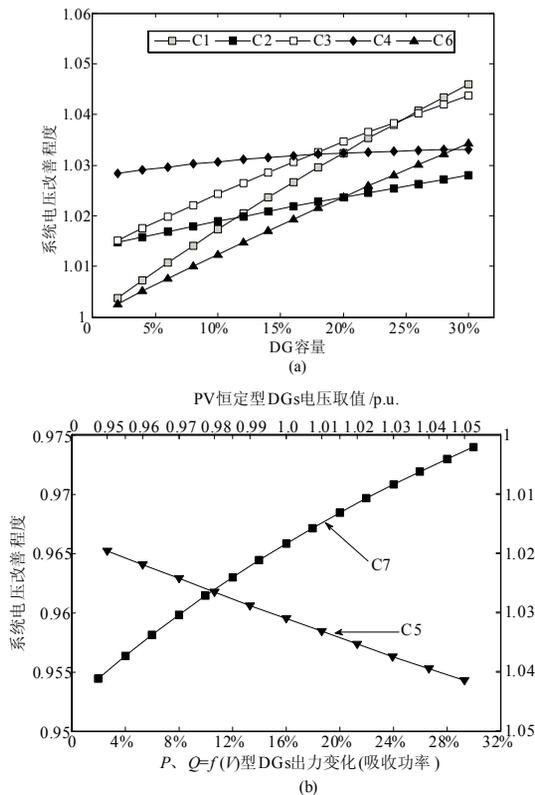


图 5 系统电压改善程度

Fig.5 Voltage profile improvement index according to the change of DGs capacity

善程度都会随着 DG 有功出力、无功输出的增加而增大。

(2) 对于 PV 恒定型 DGs, 在其电压幅值不小于接入位置的电压时, 其有功输出的增加也会使负荷节点电压得到提升, 但对系统电压改善程度的影响不明显 (如图 5 (a) 中 C4 曲线)。而其接入点电压的变化对系统电压改善程度有着很大的影响, 当接入点电压高于已有系统的节点电压时, 一般随着接入点电压的升高而增大, 当接入点电压低于已有系统的节点电压时, 反而会使系统电压降低。

(3) 对于 P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs, 负荷节点电压会随着 DG 有功出力增加而增大。但与没安装 DG 时相比, 系统电压是否得到改善与其无功的函数表达式 $Q=f(V)$ 有关, 当发出无功时, 系统电压得到提高, 而当从电网吸收无功时, 系统电压反而降低 (如图 5 (b) 中曲线 C7)。

3.2.2 DG 接入容量变化对损耗的影响

图 6 表示不同类型 DG 在不同容量下系统有功损耗改善程度, 由图 6 可见:

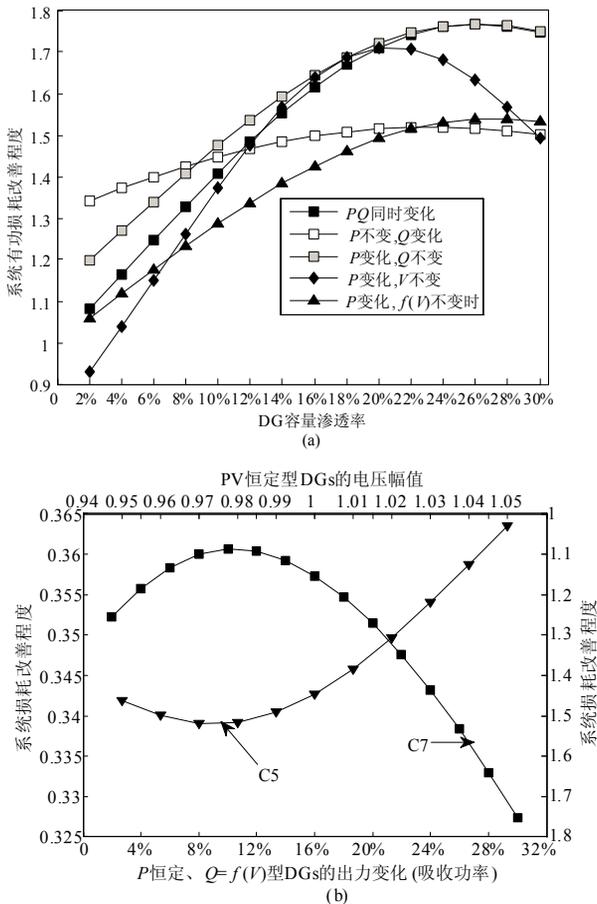


图 6 系统有功损耗改善程度

Fig.6 Active power loss improvement index according to the change of DGs capacity

(1) 对于 PQ 恒定型 DGs, 当其有功、无功输出小于总的负荷需求量时, 增加其输出量可以减小馈线的有功损耗, 但有功损耗改善程度随着 DG 容量的增加会趋于饱和, 当再增加 DG 有功输出时反而会使有功损耗改善程度下降;

(2) 对于 PV 恒定型 DGs, 其有功输出的变化对系统损耗有一定的影响, 但影响并不明显, 影响系统损耗的主要因素是接入点电压。当接入点电压高于已有系统的节点电压时, 增加 DG 有功输出量或增大其电压都可以减小馈线的有功损耗, 但系统有功损耗改善程度会在某一点达到峰值, 越过这一点再增大有功输出量或电压反而会使系统有功损耗改善程度降低。当接入点电压低于已有系统的节点电压时, 会使系统的有功损耗大幅增加;

(3) 对于 P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs, 有功损耗随着有功输出的变化情况同 PQ 恒定型 DGs 相似。但与没有 DG 时相比, 系统的有功损耗是否得到改善与其无功的函数表达式 $Q=f(V)$ 有关, 当它向电网发出无功时, 系统损耗减少, 而当它从电网吸收无功时, 则会使系统损耗增加。

3.3 多 DG 布局对电压和损耗的影响

为了分析多个 DG 布局对系统电压和有功损耗的影响, 保持 DG 总有功出力不变 ($P=0.0555$), 假定几种情况:

情形 1 一个 DG 情况。

情形 2 两个 DG 情况。两个同样大小、同样类型 DG 沿馈线末端向前均匀分散布局。

情形 3 三个 DG 情况。三个同样大小、同种类型 DGs 沿馈线末端向前均匀分散布局。

情形 4 四个 DG 情况。四个同样大小、同种类型 DG 沿馈线末端向前均匀分散布局。

从仿真结果可知, 在总有功出力不变化的情况下, 随着 DG 安装位置个数的增加, 不同类型的 DG 对系统电压 (如图 7) 和损耗 (如图 8) 的影响不一。

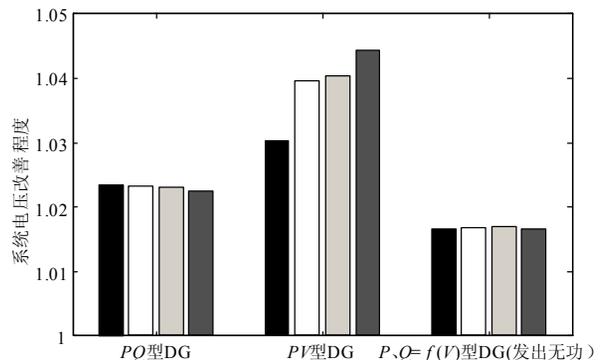


图 7 系统电压改善程度

Fig.7 Voltage profile improvement index according to the DGs number

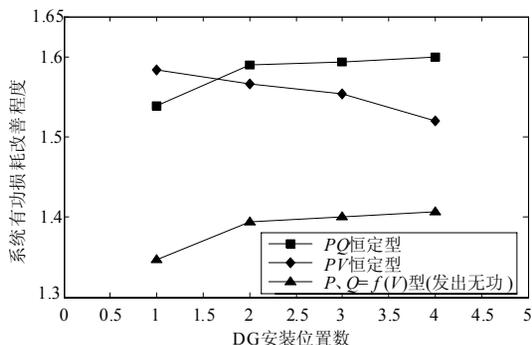


图8 系统有功损耗改善程度

Fig.8 Active power loss improvement index according to the DGs number

对 PQ 恒定型和 P 恒定、 $Q=f(V)$ 型 DGs (发出无功), 随着安装位置数的增加, 系统的有功损耗会明显减少, 而系统电压改善程度不明显, 有时会略有下降。对于 PV 恒定型 DGs, 它对系统电压和损耗的影响正好与另外两种类型的 DGs 相反, 即随着安装位置数的增加, 系统电压会得到明显改善, 而系统的有功损耗可能会增加。

4 结论

由于 DG 类型众多, 因此在研究 DG 的接入对系统电压和损耗的影响时需要针对不同类型 DG 进行具体分析。本文通过对三种类型的 DG 在接入位置、接入容量变化及多 DG 接入配电网时配电网电压分布及系统损耗的仿真, 全面分析、总结了各种类型 DG 接入对配电网电压和损耗的影响规律, 得出的相关结论可为接入 DG 的配电网规划及运行控制提供参考依据。

参考文献

[1] 李峰, 李兴源, 郝巍. 不间断电力变电站中分布式电源接入系统研究[J]. 继电器, 2007, 35(10): 13-18, 22.
LI Feng, LI Xing-yuan, HAO Wei. A research of the distributed generation in the uninterrupted power substation connected to the grid[J]. Relay, 2007, 35(10): 13-18, 22.

[2] 王建, 李兴源, 邱晓燕. 含有分布式发电装置的电力系统研究综述[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 90-97.
WANG Jian, LI Xing-yuan, QIU Xiao-yan. Power system research on distributed generation penetration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(24): 90-97.

[3] 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.
QIAN Ke-jun, YUAN Yue. Distributed generation technology and its impact on power systems[J]. Relay,

2007, 35(13): 25-29.

[4] 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.
WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, ZHOU Shuang-xi, et al. Impacts of distributed generation on distribution system voltage profile[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 56-60.

[5] Caire R, Retiere N, Martino S, et al. Impact assessment of LV distributed generation on MV distribution network[C]. //Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002, 3: 1423-1428.

[6] 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.
CHEN Hai-yan, CHEN Jin-fu, DUAN Xian-zhong. Study on power flow calculation of distribution system with DGs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 35-40.

[7] Hoff T, Shugar D S. The value of grid-support photovoltaics in reducing distribution system losses[J]. IEEE Transactions on Energy Conversation, 1995, 10(3): 569-576.

[8] 李新, 彭怡, 赵晶晶, 等. 分布式电源并网的潮流计算[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 78-81, 87.
LI Xin, PENG Yi, ZHAO Jing-jing, et al. Power flow calculation of distribution network with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 78-81, 87.

[9] WANG Cai-cheng, NEHRIR M H. Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 2068-2076.

[10] Quezada V H M, Abbad J R, Rom'an T G S. Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21(2): 533-540.

[11] 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.

[12] 王守相, 黄丽娟, 王成山, 等. 分布武发电系统不平衡三相潮流计算[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(8): 11-15.
WANG Shou-xiang, HUANG Li-juan, WANG Cheng-shan, et al. Unbalanced three-phase power flow with distributed generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(8): 11-15.

[13] Chiradeja P, Ramakumar R. An approach to quantify the technical benefits of distributed generation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversation, 2004, 19(4): 764-773.

究的内容。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[M]. 北京: 世界图书出版公司, 2001.
State Economic and Trade Commission of the People's Republic of China. DL 755-2001, guide on security and stability for power system[M]. Beijing: World Publishing Corporation, 2001.
- [2] 孙光辉, 沈国荣. 加强三道防线建设确保电网的安全稳定运行[J]. 江苏电机工程, 2004, 23 (5): 4-7.
SUN Guang-hui, SHEN Guo-rong. Enhancing three-defense lines for insuring the security and stability of the power system of China[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23 (5): 4-7.
- [3] 孙光辉. 区域稳定控制中若干技术问题[J]. 电力系统自动化, 1999, 3 (2): 1-7.
SUN Guang-hui. Techniques in regional stability control[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 3 (2): 1-7.
- [4] 龚瑛, 刘启胜. 区域型稳定控制系统的策略表在线刷新机制的研究[J]. 继电器, 2005, 33(21): 40-44.
GONG Ying, LIU Qi-sheng. Study on on-line refresh mechanism of scheme list in regional stability control system[J]. Relay, 2005, 33(21): 40-44.
- [5] 周良松, 彭波, 夏成军, 等. 一个实用的电力系统分层决策稳定控制系统[J]. 继电器, 2000, 28(4): 16-19.
ZHOU Liang-song, PENG Bo, XIA Cheng-jun, et al. Study on new transient stability control pattern with on-line hierarchical decision-making and control[J]. Relay, 2000, 28(4): 16-19.
- [6] 赵勇, 苏毅, 陈峰, 等. 福建电网在线稳定控制系统中华东电网的实时动态等值研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (4): 18-22.
ZHAO Yong, SU Yi, CHEN Feng, et al. Real-time dynamic equivalence of east china power grid for on-line stability control system of fujian power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (4): 18-22.
- [7] 孙光辉, 毕兆东, 赵希才, 等. 电力系统在线安全稳定评估及决策技术的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (17): 81-84.
SUN Guang-hui, BI Zhao-dong, ZHAO Xi-cai, et al. Technology of on-line power system stability evaluation and decision-making[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (17): 81-84.
- [8] 张岩, 王健全, 何奔腾. 一种新的电力系统稳定控制策略表表述及存储方式[J]. 继电器, 2003, 31 (12): 55-58.
ZHANG Yan, WANG Jian-quan, HE Ben-teng. A new method of expression and storage on decision table for the stability control of power systems[J]. Relay, 2003, 31 (12): 55-58.
- [9] 杨洁, 周良松, 代仕勇, 等. 电力系统在线暂态稳定控制系统的数据库设计方案[J]. 继电器, 2005, 33(21): 51-53.
YANG Jie, ZHOU Liang-song, DAI Shi-yong, et al. Database design scheme for power system online transient stability control system[J]. Relay, 2005, 33(21): 51-53.
- 收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2010-05-28
- 作者简介:
苏毅(1971-), 男, 高级工程师, 硕士, 从事电力系统稳定分析控制研究和相关软件开发工作;
俞秋阳(1980-), 男, 工程师, 硕士, 从事电力系统稳定分析控制研究和相关软件开发工作;
毕兆东(1974-), 男, 高级工程师, 博士, 从事电力系统稳定控制与在线稳定分析方面的研究和相关软件开发工作。
-
- (上接第 96 页 continued from page 96)
- [14] 郑漳华, 艾芊, 顾承红, 等. 考虑环境因素的分布式发电多目标优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (13): 23-28.
ZHENG Zhang-hua, AI Qian, GU Cheng-hong, et al. Multi-objective allocation of distributed generation considering environmental factor[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (13): 23-28.
- [15] Baran M E, Wu F F. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4 (2): 1401-1407.
- 收稿日期: 2010-03-16; 修回日期: 2010-05-11
- 作者简介:
张立梅(1972-), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为电力系统分析、新能源发电配电规划、运行及可靠性评估等;
E-mail: lzmzhch@yahoo.com.cn
唐巍(1971-), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制、地方电力系统优化运行、配电网可靠性、电网性能评估等。