

一种基于图示求解的分布式发电优化配置方法

李根富, 吕林

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 分布式发电(Distributed Generation)对配网潮流及电压的影响主要与其位置和容量有关。提出一种基于馈线潮流分布图求解 DG 优化配置的新方法, DG 和负荷均采用较简单的恒功率模型, 馈线首端采用恒电压输出模型, 得出馈线潮流分布图, 根据引入 DG 对潮流和电压影响的规律, 来求解 DG 的优化配置问题。该方法可以使得大部分目标函数和限制条件在图示中简单易了, 避免传统优化算法繁琐的过程。最后通过仿真算例并于遗传算法结果进行比较证明了方法的有效性和准确性。该方法是不同于传统优化算法的一种新思路, 可对 DG 注入容量、注入位置的选择提供理论参考依据。

关键词: 分布式发电 (DG); 优化配置; 图示求解; 配网; 线损最小

A figure-based method of optimal placement of DG

LI Gen-fu, LÜ Lin

(School of Electrical Engineering, Sichuan University, Chendu 610065, China)

Abstract: Distributed generation (DG) located at distribution network has signification impacts on feeders' power and voltage profile. The degree of detailed effects depends on the location and penetration levers of DGs. By adopting the constant-power models, it receives the power distribution curve along with location and then resolves the optimizing allocation of the DG. This method makes the majority of object functions and restrictions sample and avoids the complicated process of traditional optimization algorithms. Finally, through the simulation example, the method is proved to be effective and accurate. The method is a new way of thinking different from the conventional optimization algorithm, and provides a theoretical reference for the penetration and location of the DG.

Key words: distributed generation (DG); optimal placement; figure-based; distribution network; loss minimization

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)24-0033-05

0 引言

分布式发电指的是通过规模不大(几十千瓦到几十兆瓦)、分布在负荷附近的发电设施经济、高效、可靠地发电^[1]。目前,大电网与分布式发电相结合被世界许多能源、电力专家公认为是能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式,是21世纪电力工业的发展方向^[2]。分布式电源 DGS (Distributed Generating Source) 包括功率较小内燃机 (Internal Combustion Engines), 微型燃气轮机 (Micro-turbines), 燃料电池 (Fuel Cell), 可再生能源如太阳能发电的光伏电池 (Photovoltaic Cell) 和风力发电等^[3]。

配电网中引入DG, 对配电网有较大的影响,

包括电压水平、线损、故障水平等^[4~8], 因此如何优化配置DG, 减小DG对配电网的不良影响同时减小线损增加供电可靠性, 是DG优化配置的首要问题^[9,10]。传统的优化方法主要包括数学优化算法如线性优化、混合整数优化等, 还包括一些启发式的优化算法, 如神经网络优化算法、模拟退火算法、基因遗传算法、粒子群算法、蚁群算法、tabu搜索算法等等^[11~14]。数学优化算法主要是根据数学方法求解优化解的问题, 这些算法原理简单, 但是往往迭代次数多、收敛慢, 甚至不收敛, 应用的范围也有所限制。启发式算法主要借鉴自然界中某事物所具有的优化特点来进行优化。此类算法限制条件少, 因此运用广泛, 但收敛速度一般较慢且对模型的建立、参数的变化有很大的依赖性。启发式优化

方法最终结果只是局部优化解或拟全局优化解，而避免陷入局部优化解的可能，需要增加计算时间为代价，最终也只是在避免局部优化解和提高收敛速度一个折中位置。本文采用的基于图示求优化解，原理简单，求解快速，过程直观明了，需要的条件少，而不用担心局部优化解的问题。

1 方法原理

配电网络的拓扑结构类型较多，我国城乡大多数的配电系统仍以放射状链式结构为主。馈线中不同位置分布有若干负荷。采用恒功率模型来表示馈线上各节点的负荷。同时假设负荷三相对称。因电压等级较低，配电网线路长度较短，三相线路间的互感也不予考虑。DG亦采用恒功率模型，馈线首端采用恒电压输出模型。我们主要研究的对象是引入DG的某条馈线上潮流的变化情况。为便于研究，这里以馈线上负荷均匀分布情况为例，对于负荷非均匀分布的情形亦不影响问题的结论，假定引入DG前后馈线上线损的变化相对注入的DG容量可忽略不计。图中 ΔS 表示DG的输出功率， x_1 为DG接入位置， x_0 为功率分点。

1.1 开式网络的某条馈线引入DG

开式网络（即完全辐射状的配网）中馈线潮流只有一个方向，不存在功率分点，随着潮流的方向电压逐步下降。以引入DG的某条馈线为研究对象，随着馈线各个分支负荷的分流作用，馈线上的功率逐渐减少，如图1所示。

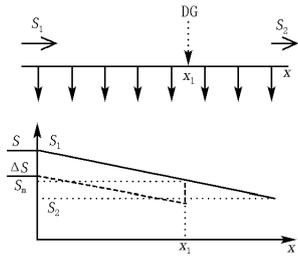


图1 开式网络的某条馈线引入DG馈线潮流分布图

Fig.1 Impact of DG on power flow in open network

图中容易看出，实线为未接入DG时馈线功率分布图，虚线为接入DG后馈线功率分布图。在 $x = x_1$ 位置接入DG时，只影响 $x < x_1$ 处的功率分布，各处流过的功率均减少 ΔS ，而对 $x > x_1$ 处的功率分布没有影响。如果DG接入位置 x_1 和注入功率 ΔS 不当，会增加功率分点，馈线潮流方向复杂化， S_m 是不增加功率分点注入功率的上限。

1.2 闭式网络的某条馈线引入DG

当配网工作在环网时，或已经引入DG导致部分网络成为闭式网络时（潮流不是单向辐射的），选某条存在功率分点的馈线作为研究对象，如图2所示（ S_2 采用恒功率输出模型）。

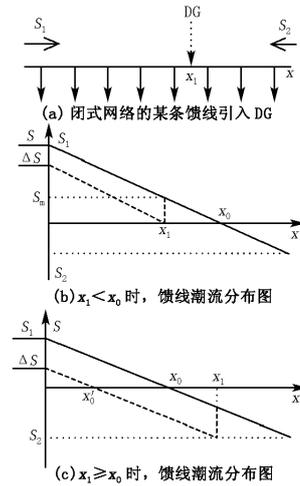


图2 闭式网络的某条馈线引入DG馈线潮流分布图

Fig.2 The impact of DG on power flow in closed network

图中，实线为未接入DG时馈线功率分布图，虚线为接入DG后馈线功率分布图，功率曲线与x轴的交点为功率分点。

$x_1 < x_0$ 时，如图2（b）所示，在 $x = x_1$ 处引入DG之前， x_0 为功率分点，引入DG之后，只影响 $x < x_1$ 处的功率分布，各处流过的功率均减少 ΔS ，而对 $x > x_1$ 处的功率分布没有影响。如果DG接入位置 x_1 和注入功率 ΔS 恰当，不会增加功率分点，馈线潮流方向不会发生变化，反之则可能增加功率分点数，馈线潮流方向复杂化， S_m 是不增加功率分点注入功率的上限。

$x_1 \geq x_0$ 时，如图2（c）所示，在 $x = x_1$ 处引入DG之前， x_0 为原功率分点，引入DG之后，仍只影响 $x < x_1$ 处的功率分布情况，考虑到 S_2 与 S_1 方向相反，认为与 S_1 方向相反的功率值是负值，则影响的幅度不变， $x < x_1$ 各处流过的功率均减少 ΔS ，但功率分点必定发生位移，注入功率越大，功率分点向母线前移越多。

以上分析的情况均是馈线负荷均匀分布的情况，当馈线负荷分布不均匀，同时再考虑到馈线上损耗时，图中潮流分布图就不是线性变化，但仍不影响所得到的结论。图中 S 可表示有功、无功或视在功率。当同时引入多个DG，可将他们的影响叠

加即可。

从以上分析得知, 当DG注入容量和位置不恰当时, 配电网的拓扑性质可能将由开式变成闭式, 此时馈线上将存在功率分点, 馈线潮流方向亦会不一致, 分点处电压处于最低, 此种情况非常不利于配网的运行, 对DG的再次接入, 也会使得馈线潮流更复杂化。

1.3 对馈线电压分布的影响

先讨论开式网络中引入DG对馈线电压的影响。DG注入功率使得馈线上流动的潮流减小, 电压损耗减小, 即使得馈线上各点的电压有所抬高。研究馈线各点电压的变化量, 认为某条馈线的参数不变, 即单位长度电阻 r' 、单位长度电抗 x' 恒定, 则单位长度电压的变化量 Δv 为:

$$\Delta v = \frac{P_{DG}r' + Q_{DG}x'}{V_0}$$

其中: V_0 是初端电压, 引入DG馈线上各点电压变化量如图3所示。

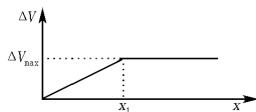


图3 引入DG馈线上各点电压变化

Fig.3 Impact of DG on voltage profile

很显然 $x < x_1$ 时, ΔV 线性变化, 当馈线参数恒定时, 变化率与DG注入容量成正比。因此馈线各点电压变化量与DG注入容量 P 、 Q 和接入位置 x_1 有关。

$$x < x_1 \text{ 时, } \Delta V = \frac{P_{DG}r' + Q_{DG}x'}{V_0} \cdot x$$

$$x \geq x_1 \text{ 时, } \Delta V = \Delta V_{\max} = \frac{P_{DG}r' + Q_{DG}x'}{V_0} \cdot x_1$$

当DG注入容量一定时, 馈线各点电压变化量只与接入位置 x_1 有关, 且 x_1 越小, ΔV_{\max} 越小, 馈线电压影响越小。需要指出, 随着潮流的方向, 由于线路阻抗的存在, 电压会有所损落, 因此接入处 x_1 的电压水平可能相对抬高最多, 如果此处的电压未越上限, 则基本能保证其他各处电压越上限的要求。

闭式网络中, 引入DG对馈线电压的影响可以借鉴开式网络的情形。当接入位置 $x_1 < x_0$ 时, 结论

和开式网络相同; 当 $x_1 \geq x_0$ 时, 与 S_1 方向相反的功率值认为是负值, 电压与功率都是标量, 馈线电压的变化情况仍可采用开式情形的公式计算, 即如图3所示。

对其他未接入DG馈线电压的影响, 可通过该分支的位置求得整条馈线电压的抬高量。

2 分析计算

为满足各种不同要求而优化配置DG, 往往需要建立各种不同限制条件和目标函数。本文提出图示求解的方法, 可以使得限制条件和目标函数简单了, 并可由图示分析直接求解, 而不需要传统优化算法的繁琐的过程。

1) DG对配网的渗透率: DG对配网的渗透率主要包括对配网潮流和电压两个方面的渗透能力, 这里只研究注入DG对配网潮流和电压的静态影响。DG注入容量越大, 对配网渗透率越大, 以下分析DG渗透率和注入位置的关系。在开式网络中, 由以上图示易知DG接入位置 x_1 越接近0, 其对该馈线电压和潮流的渗透越小, 考虑极限情况, 当 $x_1=0$ 时, DG对配网电压和潮流没有渗透, 引入DG未改变馈线的拓扑性质, 对馈线电压也无影响, 网络仍是集中式供电系统。此时, 虽然屏蔽了DG对配网(电压)任何不良影响, 但同时也屏蔽掉了引入DG的优点(减小线损增加供电可靠性等等)。 x_1 为馈线末端时, DG渗透最大, 此时相当于两端供电系统; 在闭式网络中, DG接入位置 x_1 越接近0, 其对馈线的渗透越小。 $x_1 < x_0$ 时, 与开式网络相同; 当 $x_1 \geq x_0$ 时, DG的接入会移动功率分点位置, 注入功率越大, 功率分点前移越远。注入位置 x_1 为馈线末端时, DG对配网渗透率最大, 此时DG影响整个馈线的功率分布情况。

2) 不影响潮流方向的限制(不改变功率分点): 在开式网络中, 为保证整个馈线网络的潮流流向仍是单向的, 馈线电压在整个网络中是逐步下降的, DG注入功率 ΔS 不能超过接入位置 x_1 处馈线流过的功率值。在闭式网络中, $x_1 < x_0$ 时, 结论相同。 $x_1 \geq x_0$ 时, DG的接入虽然不增加功率分点个数但会移动功率分点位置。

3) 线损为目标函数: 线损即与馈线流过的功率的平方成正比。因此减少线路上流过的功率对减少线损有直接的效果。线损最小, 即:

$$L = \int S(x)^2 dx \rightarrow \min$$

其中： L 表示线损， $S(x)$ 为潮流分布图。线路上流过的功率变化量与DG的位置和容量有关，以下分别讨论线损目标函数与该两个变量的关系。

a) 当注入位置 x_1 确定时，线损最小注入容量应选择：

$$\Delta S = \Delta S_0 = \frac{S_1 + S(x_1)}{2}$$

即随着注入容量的增大，线损先减小再增大，当 $\Delta S = \Delta S_0$ 时，线损最小，如图4所示。如 $S(x_1)$ 与 S_1 方向相反则取负值，若上式求得的 $\Delta S_0 < 0$ ，则表示，在 x_1 处接入DG只会增大线损。

上式结论是在负荷均匀分布的前提下推导出来的。若负荷不是均匀分布的，注入容量需做相应调整，具体可将原来的馈线潮流分布图的纵坐标改成原来的平方，线损对应的是此时纵坐标与横坐标所围绕的面积之和。

b) 当注入容量 ΔS 确定时，线损最小注入位置应选择：

$$x_1 = x_{10} = \{x_1 \mid \Delta S = 2S(x_1)\}$$

即随着注入位置的增大，线损先减小再增大，当 $x_1 = x_{10}$ 时，线损最小，如图5所示。

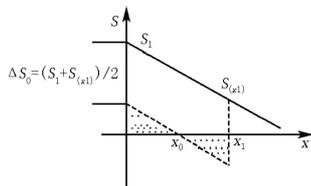


图4 注入位置 x_1 确定，线损最小注入容量 ΔS 的选择

Fig.4 Decision of ΔS for loss minimization

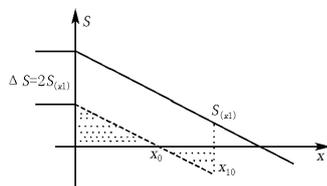


图5 注入容量 ΔS 确定，线损最小注入位置 x_1 的选择

Fig.5 Decision of x_1 for loss minimization

4) 电压不越限限制：DG的引入会引起馈线上电压的抬高，不同位置电压抬高量不同，其变化曲线如图3所示。故这里只考虑电压不越上限的情况，由以上图3分析可知，DG注入位置最有可能越限，此限制条件可表示为：

$$V_1 + \frac{P_{DG}r' + Q_{DG}x'}{V_0} \cdot x_1 \leq V_{max}$$

其中： V_1 为 x_1 处未引入DG时的电压， V_{max} 是电压上限。

实际设计DG不可能单一考虑某个因素，往往要综合考虑多个因素的限制，但上述几点可以提供些参考价值，从馈线功率分布图分析也可以使得优化问题比较简单易了。若保证配网的开式运行，馈线上潮流方向的一致性，限制2是必须的，它是多DG同时接入配网时非常重要的条件。

3 算例仿真

这里针对某配电网的某条馈线进行优化配置DG的算例进行仿真实验。该馈线接线图如图6所示，其中节点1, 3, 4, 5, 6有分支馈线。现在馈线AB段优化配置DG，需对接线图进行简化处理，除AB段馈线外的节点及线损部分均简化为该节点的负荷。由潮流程序计算1-8各节点流过的功率，得到该条馈线功率分布图如图7曲线1所示。现预备在该条馈线上配置2组风力发电机，和一组微型燃气轮机。已知根据当地风力的情况知，每组风力发电机功率上限为2 MW；该组微型燃气轮机由于燃料等原因限定，需安装在离该馈线首端1/3处。优化此2组风力发电机组的最佳位置以及该组微型燃气轮机注入容量的上限。要求：1) 电压限制：DG接入后所有节点处电压不能超过首端电压且抬高量不能超过0.4 kV；2) 潮流限制：整条馈线上功率方向是一致的，馈线内部不能出现功率分点；3) 线损要求：线损最小。未增加潮流方程限制，是考虑到DG配置问题，对于功率不平衡的部分由前段母线补偿。已知馈线首端电压为10.5 kV，单位长度电阻为1 Ω。馈线各节点位置及负荷见表1。

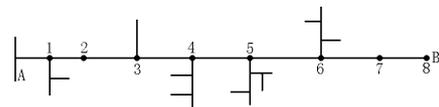


图6 某馈线接线图

Fig.6 Structure of a distribution network

先配置2组风力机组的位置，由本文介绍的方法，风力机组应分别配置 $x=0.83$ (第6个节点) 和 $x=0.44$ (第4个节点) 两处。风力DG配置后潮流分布图如曲线2、3所示。再由曲线3可得该组微型燃气轮机注入容量上限为2.66 MW。注意所有DG均配置

相应节点负荷的前端。曲线4为同时引入2.66 MW的微型燃气轮机后的潮流分布图。曲线5为引入所有DG后的实际潮流图, 由图可知曲线4和5非常接近, 误差在工程容许误差范围内。曲线2, 3, 4均为该方法得出的理论潮流图, 而曲线1和5反映的实际的潮流曲线图, 曲线1和5每段馈线潮流曲线的斜率变化, 反映了引入DG后对线损影响。表1给出了每段馈线线损的减少量。线损降低的百分点可计算为3.2%, 可见该馈线引入的DG对减小线损是非常有效的。最后验证DG接入处电压最大抬高量是否越限。第6个节点电压抬高量最大, 且等于3个DG引起的最大抬高量之和:

$$\Delta V_{\max 1} = \frac{2.66 \times 10^6 \times 0.33}{10.5 \times 10^3} = 0.084(\text{kV})$$

$$\Delta V_{\max 2} = \frac{2 \times 10^6 \times 0.44}{10.5 \times 10^3} = 0.084(\text{kV})$$

$$\Delta V_{\max 3} = \frac{2 \times 10^6 \times 0.83}{10.5 \times 10^3} = 0.16(\text{kV})$$

$$\Delta V_{\max} = \Delta V_{\max 1} + \Delta V_{\max 2} + \Delta V_{\max 3} = 0.33 < 0.4(\text{kV})$$

故满足电压要求。

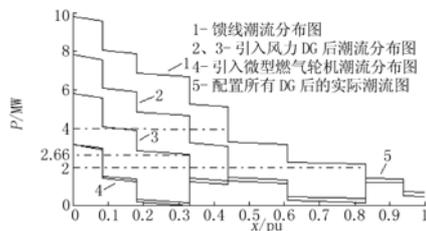


图7 某馈线接入DG前后的潮流分布图

Fig.7 Impact of DG on power flow in distribution network

表1 各节点的位置、负荷、配置DG功率(MW)、电压抬高量(kV)、线损减小量(MW)及与遗传算法的比较结果

Tab.1 Result of simulation

节点号	1	2	3	4	5	6	7	8
位置	0.085	0.18	0.33	0.44	0.61	0.83	0.94	1
负荷	1.5	1.05	1.4	1.8	0.9	0.9	0.6	0.48
注入DG	0	0	2.66	2	0	2	0	0
电压抬高	0.040	0.084	0.15	0.25	0.28	0.33	0.33	0.33
线损减小	0.064	0.071	0.113	0.018	0.007	0.009	0.000	0.000
遗传算法	0	0	2.81	2	0	2	0	0

表1给出各个节点配置DG前后的一些数据。图5中理论值曲线4和实际值曲线5的误差, 除随机误差造成的, 还包括理论误差, 因为在分析引入DG

对馈线潮流分布的影响时, 未考虑引入DG前后馈线线损的变化。表1还给出了采用基因遗传算法对该算例仿真计算的结果, 2台风力发电的安装位置的结果是一致的, 微型燃气轮机的注入上限有些偏差, 这正是由于图示求解的理论误差造成的。本文所采用的方法计算时间接近1次潮流计算时间, 而基因遗传算法的计算时间为取决于迭代次数, 需要多次计算潮流, 还加上算法本身的时间。因此基于本文所提出的图示求解方法在计算时间上的优势非常明显。

4 结束语

本文根据配电网拓扑结构特点以及引入DG后的影响, 提出了一种基于馈线潮流分布图示求解DG优化配置的问题。该方法原理简单, 使得DG配置的主要目标函数及限制条件在图形中反映出来, 从而使得优化问题求解变得非常简单易了, 避免传统优化算法的繁琐求解的过程。文中还指出, 保证配网开环运行(潮流方向的一致性)非常重要, 是多个DG同时接入的重要条件。最后通过一个算例验证了此方法在解决DG优化配置的有效性。该图示求解方法也有其局限性, 模型采用的恒功率模型, 有一定的粗糙性, 但是解决配电网中DG优化配置问题, 往往是满足峰荷、增加负荷等特殊情况即可, 因此本文所采用的方法可用于解决实际中DG的优化配置问题。该方法新颖独特, 求解意义直观明了, 也具有一定的可开发性, 只需要对目标函数及限制条件进行适当图形意义转换即可迅速得到全局最优解。

参考文献

- [1] Ackeman T, Anderson G, Seder L. Distributed Generation: a Definition[J]. Electric Power System Research, 2001, 57(6): 195-204.
- [2] 梁有伟, 胡志坚, 陈允平. 分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 71-76.
LIANG You-wei, HU Zhi-jian, CHEN Yun-ping. A Survey of Distributed Generation and Its Application in Power System[J]. Power System Technology, 2003, 27(12): 71-76.
- [3] 陈星莺, 刘孟觉, 单渊达. 超导储能单元在并网型风力发电系统的应用[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 63-66.
CHEN Xing-ying, LIU Meng-jue, SHAN Yuan-da. Application of Super Conducting Magnetic Energy Storage System—SMES in Wind Power System of Network-forming[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(12): 63-66.
- [4] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电接入位置和注入容量限制的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 17(1): 53-58.

(下转第46页 continued on page 46)

[13] 张宇波,罗先觉,薛军义.非完全信息下电力市场中电厂机组出力优化的改进古诺模型[J].中国电机工程学报,2003,23(6):7-12.
ZHNAG Yu-bo, LUO Xian-jue, XUE Jun-yi. Improved Cournot Model of Generation Unit Output of Generation Companies Under Incomplete Information in Electricity Market[J].Proceedings of the CSEE, 2003,23(6):7-12.

[14] 郭家春,何光宇,王稹,等.发电公司报价决策行为的分析[J].电力系统自动化,2002,26(5):5-8
GUO Jia-chun, HE Guang-yu, WANG Zhen,et al. Behavior Analysis on the Bidding Strategy of Generation Companies[J].Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(5):5- 8.

[15] 高鑫,王秀丽,雷兵,等.独立发电商的策略报价研究[J].中国电机工程学报,2004,24(7):41-46
GAO Xin, WANG Xiu-li, LEI Bing, et al. Research on Bidding Strategy for an Independent Power Plant[J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24(7):41-46.

[16] 张晓东,高波,宋之平.发电企业竞标策略研究[J].中国电机工程学报,2004,24(9):153-157
ZHANG Xiao-dong, GAO Bo, SONG Zhi-ping. The Study of Bidding Strategies for a Power Supply[J]. Proceedings of the CSEE, 2004.24(9):153-157.

收稿日期:2006-08-24; 修回日期:2006-10-09

作者简介:

刘建良(1976-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力市场理论及发电厂报价决策支持系统;

E-mail:ljlhero@163.com

周杰娜(1958-),女,教授,主要从事电力市场理论、发电厂报价决策支持系统、电力系统运行与控制的研究工作;

杨华(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力市场。

(上接第37页 continued from page 37)

WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, ZHOU Shuang-xi,et al.Study on Location and Penetration of Distributed Generation[J].Automation of Electric Power Systems,2005,17(1):53-58.

[5] 梁才浩,段献忠.分布式发电及其对电力系统的影响 [J].电力系统自动化,2001,25 (12):53-56.
LI Cai-hao,DUAN Xian-zhong.Distributed Generation and Its Impaction on Power System[J].Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (12):53-56.

[6] Conti S,Raiti S,Tina G. Small-scale Embedded Generation Effect on Voltage Profile: an Analytical Method[J]. IEE Proceedings-Gener, Transm, and Distrib,2003,150(1):78-86.

[7] Caire R, Retiere N, Martino S. Impact Assessment of LV Distributed Generation on MV Distribution Network [A].Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Chicago:2002.1423-1428.

[8] Pecas Lopes J A. Integration of Dispersed Generation Distribution Networks-impact Studies [A].Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting.New York(USA):2002.323-328.

[9] Brown R E,Freeman L A. Analyzing the Reliability Impact of Distributed Generation[A]. Power Engineering Society Summer Meeting .Vancouver(Canada): 2001.1013-1018.

[10] Alvarado F L. Locational Aspects of Distributed Generation[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Ohio(USA):2001.

[11] Nara K, Hayashi Y, Ikeda K, et al. Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generators[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Ohio(USA): 2001.918-923.

[12] Silvestri A, Berizzi A, Buonanno S. Distributed Generation Planning Using Genetic Algorithms[A]. International Conference on Electric Power Engineering. Budapest(Hungary):1999.

[13] El-Khattam W, Hegazy Y, Salama M. An Integrated Distributed Generation Optimization Model for Distribution System Planning[A]. Power Engineering Society General Meeting.2005.

[14] Celli G, Pilo F. Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks Power Industry Computer Applications[A]. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on Innovative Computing for Power-electric Energy Meets the Market.2001.81-86.

收稿日期:2006-08-02; 修回日期:2006-09-14

作者简介:

李根富(1981-)男,硕士研究生,研究方向为配网无功优化及分布式发电;E-mail:ligengetx@sina.com

吕林(1963-)男,副教授,硕士生导师,主要从事

配网自动化及分布式发电方向的研究工作。

上接第40页 continued from page 40)

[2] 马玲,周家启.电站几种典型主接线的可靠性分析[A].全国高等学校电力系统及其自动化专业第十九届学术年会论文集,2003.93-97.
MA Ling, ZHOU Jia-qi. Reliability Analysis of the Typical Electric Connections in Substation[A].Proceedings of the EPSA, 2003. 93-97.

[3] 李光琦.电力系统暂态分析[M].北京:中国电力出版社,1995.
LI Guang-qi. Transient Analysis of Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press,1995.

[4] 吴天明,谢小竹,彭彬.MATLAB电力系统设计与分析[M].北京:国防工业出版社,2004.
WU Tian-ming, XIE Xiao-zhu, PENG Bin. Design and Analysis of Power System Based on MATLAB[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2004.

[5] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].北京:中国电力出版社,1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Power System Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press,1994.

收稿日期:2006-07-31; 修回日期:2006-09-26

作者简介:

刘宝林(1980-),男,助理工程师,工学学士,主要从事变电运行工作;E-mail:l123b456_123@163.com

范磊(1981-),男,助理工程师,工学学士,主要从事变电运行工作;

杨毅(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。