

考虑分布式电源的配电网优化规划

李伟伦¹, 桂淑华², 孙志刚¹, 卫志农²

(1.南通供电公司, 江苏南通 226006; 2.河海大学, 江苏南京 210098)

摘要: 分布式电源(DG)的发展给配电网规划带来了新的挑战。考虑负荷增长,从供电公司的角度,以DG接入投资、线路投资以及电网有功损耗最小为目标函数,建立了配电网节能减损的规划模型,充分利用配电网正常运行呈辐射状网络的特点,采用启发式方法对含DG的配电网进行规划,通过模糊评估算法分析了DG接入对配电网运行带来的影响,进而引入协调系数,对目标函数进行优化。算例计算结果验证了所提出的模型和算法的有效性。

关键词: 分布式电源; 配电网规划; 协调系数

中图分类号: TM72

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2010)05-0030-03

随着分布式电源接入配电网,传统的配电网规划面临着重大的挑战。分布式电源(DG)是指发电系统以小规模、分散式的方式分布在用户端,可以独立地输出电能的系统。分布式发电设备主要有内燃机、微型汽轮机、风力发电、光伏发电等,具有投资小、损耗低、系统可靠性高、效率高等优点^[1],同时,在减轻环境污染降低网络损耗等方面都具有一定的优势。分布式电源并入电网,对配电网的节点电压、线路潮流、短路电流、网络可靠性等都会带来影响,其影响程度与分布式电源的位置和容量有关^[2-5]。因此,合理有效地选择分布式电源的位置和容量十分重要。

国内外学者对分布式电源的选址和定容问题进行了研究。文献[6]在分布式电源个数、位置和容量都不确定的情况下,采用遗传算法对分布式电源的位置和容量进行优化。文献[7,8]从供电公司角度,给出了在市场条件下DG的规划模型,并采用启发式方法求解。文献[9]运用支路交换法和模拟退火算法进行配电网扩展规划,同时采用遗传算法优化DG的位置和容量。文献[10]研究了在不同负荷水平下计及配电网DG优化配置问题,并考虑到DG对配电网潮流和线路负载能力的影响。本文针对DG接入配电网规划问题,建立配电网综合节能的优化模型,从供电公司的角度,以年费用和 network 损耗最小为目标函数,通过对网络供电能力综合量化评估,引入协调系数的概念,借助协调系数对目标函数进行优化。

1 计及DG的配电网规划数学模型

配电网规划是指在电网现状分析及未来负荷分布预测的基础上,在满足未来用户容量和电能质量

的情况下,确定若干年后合理的目标网络结构。本文分别以年费用和 network 损耗最小为目标函数,具体目标函数如下:

$$\min F = [F_1, F_2] \quad (1)$$

式中:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{N_1} \alpha C_{li} + \sum_{j=1}^{n_{DG}} \beta C_{DGj} + (c_{DG} - c_b) P_{DGj} T_0 \quad (2)$$

$$F_2 = P_{\text{loss}}(P_{DG1}, P_{DG2}, \dots, P_{DGn_{DG}}) \quad (3)$$

式(1—3)中: F_1 为投资年费用,包括配电网线路和DG年费用; F_2 为系统网络损耗; N_1 为新建线路数; n_{DG} 为接入配电网的DG数目; α 和 β 分别为线路和DG投资年费用系数; C_{li} 和 C_{DGj} 分别为新建第 i 条线路和第 j 个DG机组的投资费用; C_{DG} 为DG运行成本; c_b 为单位购电价格; P_{DGj} 为第 j 个DG机组的额定容量; T_0 为DG向配电网供电的年最大运行时间; P_{loss} 为网络损耗,与分布式电源的位置和容量有关。

结合电力系统的要求和配电网实际运行的特点,提出如下约束。

(1) 配电网正常运行情况下呈辐射状结构。

(2) 线路电压 $U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}$ ($i=1, 2, \dots, n$), n 为节点总数。

(3) 容量约束: ① 对线路, $I_i \leq I_{\max}$ ($i=1, 2, \dots, N$), N 为线路总数, I_i 和 I_{\max} 分别为第 i 条支路的电流和允许通过电流的上限。② 对DG, 由于本文规划不考虑功率的逆向流动, DG出力受DG机组最大容量的限制,同时认为安装在负荷中心的DG只对该节点负荷供电,所以 $P_{DGj} \leq P_j$; $\sum P_{DGj} \leq P_{\max}$; P_{DGj} 和 P_j 分别为第 j 个DG机组的装机容量和节点负荷; P_{\max} 为系统允许接入DG的最大容量。

2 协调模型的提出

由于并入配电网的 DG 的位置和容量对配电网有很大影响。因此,为了降低 DG 的无序建设对配电网带来的安全以及稳定的影响,本文引入协调系数的概念,通过价格杠杆来指导 DG 布局,反映当前规划方案中考虑 DG 数量和位置对系统造成的影响,新的目标函数为:

$$\min F = D^* \times F_1 + F_2 \times w_1 \times T_{\max} \quad (4)$$

式中: T_{\max} 为年发电小时数; w_1 为单位损耗费用; D^* 是协调系数,反映的是当前方案中 DG 分布情况对系统造成影响的大小,DG 大量并网运行,增加了配电网规划的不确定性,协调系数的引入起到降低投资风险,协调配电网规划与 DG 合理布点的作用。

2.1 协调系数 D^* 的计算

协调系数反映的是当前规划方案中 DG 出现的数量和容量对系统造成的影响。由于目前 DG 的安装成本相对较高,DG 的布点和容量都是不确定的,因此 DG 的接入对配电网的影响具有很大的不确定性。文献[11]基于粗集理论的权重确定方法,建立一种计及网损、电压、短路电流等多种指标的 DG 接入容量和位置的综合评价系数,但是该方法有很大的主观性,过程过于复杂,不适合大规模评价。本文采用模糊理论对综合协调系数进行求解。首先通过建立配电网评估的指标体系,对每个指标确定隶属度函数,对评估对象进行量化,可以很好地处理评价属性的不确定性,从而最终得到全网的协调系数。其评价结构如图 1 所示。

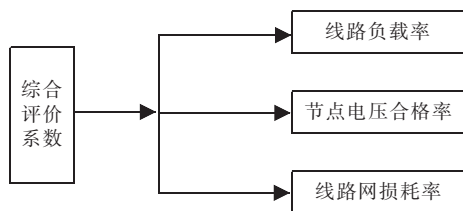


图 1 网络评价指标体系

本文选取 DG 接入对配网造成较大影响的 3 类指标进行评价。其典型隶属度函数表示如下。

(1) 线路负载率隶属度函数。梯形分布的隶属度函数表达式为:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0.025x & 0 \leq x < 40 \\ 1 & 40 \leq x < 60 \\ (120 - x)/60 & 60 \leq x < 120 \\ 0 & x \geq 120 \end{cases} \quad (5)$$

根据各条线路的负载率情况对线路进行评价,根据工程上的应用,规定线路负载率一般在 40%~60%,

取负载率的下限为 0,上限为 120%。

(2) 电压偏差隶属度函数。定义电压偏差隶属度函数表达式为:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x^2}{7^2} & 0 \leq x \leq 7 \\ 0 & x > 7 \end{cases} \quad (6)$$

由于和传统网络不同,部分节点可能接有 DG,统计各条线路的电压偏差 $x\%$,根据规划设计导则规定,供电电压的正负偏差的绝对值不超过标称电压的 10%,本文取电压偏差绝对值上限为 7%。

(3) 线路网损率隶属度函数为:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 3 \\ 1.3 - 0.1x & 3 \leq x < 7 \\ 2 - 0.2x & 7 \leq x < 10 \\ 0 & x \geq 10 \end{cases} \quad (7)$$

统计各条线路的线损率 $x\%$,架空线路的线损在 3%以下,本文取 10%为上限。

本文局部权重的设定主要参考专家的建议,然后通过归一化得到最终权重。本文采用图 1 所示的评价体系,主要选取了接入 DG 会对配电网产生较大影响的指标,利用权重因子和各项指标的隶属度,对配电网的供电能力进行综合评估,得到一个量化结果:

$$D = (b_1, b_2, b_3) = \sum_{i=1}^3 \omega_i P_i \quad (8)$$

式中: ω_i 为评价属性归一化的权重因子组,本文选定各因素对供电能力影响权重为: $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (0.4, 0.3, 0.3)$; P_i 为各评价指标的平均隶属度值;得到评估结果,在 b_1 程度上供电能力表现良好,在 b_2 程度上供电能力表现一般,在 b_3 程度上供电能力表现不好。当供电能力表现为一般和良好时,表示电网运行正常,因此 D^* 取供电能力在一般以上的值 $b_1 + b_2$ 。

3 算例分析

按照本文提出的方法,对某配电网^[12]进行分布式电源的选址、定容和网架规划。网架的初始结构如图 2 所示,虚线为待选线路,节点 0 为配电网变电站的节点,其余为负荷节点。假设网络中允许接入 DG 的节点为 1~9,待选单个分布式电源的功率因数取 0.9,单个分布式电源的接入容量为 100 kV·A 的整数倍,负荷总量仅考虑新增负荷节点负荷总和,分布式电源在电网中最大的接入容量为新增负荷总量的 15%。

图 3 是以供电公司年建设费用最小和网络损耗最小为目标函数进行多目标优化的结果。分布式电

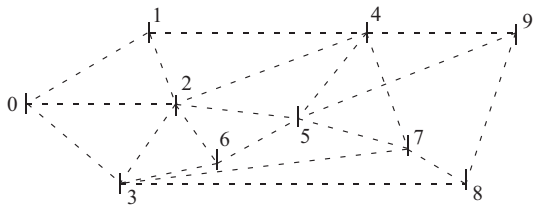


图2 网架初始结构

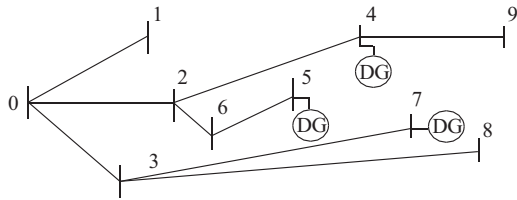


图3 多目标优化结果

源的位置位于节点4, 5, 7, 容量分别为 300 kV·A, 300 kV·A 和 200 kV·A, 由于分布式电源对线路潮流的影响, 可以看到分布式电源主要位于辐射线路的中末端。

多目标的优化结果为 731.094 万元, 此时 2 个优化子目标分别为: 供电公司年成本 720.74 万元, 网络损耗为 0.098 5 MW。对优化结果进行综合评价, 评价结果如表 1 所示。

表 1 多目标优化结构综合评价结果

评价指标	良好	一般	不好
线路负载率	0.342 1	0.125 8	0.532 1
电压质量	0.912 4	0.062 1	0.025 5
网络损耗	0.888 9	0.083 3	0.027 8
综合评价	0.552 9	0.260 3	0.186 8

从表 1 可知, 在 55.29% 的程度上供电良好, 在 26.03% 程度上供电一般, 在 18.68% 的程度上供电不好。这样取协调因子为 $D^*=0.812 9$, 对式(4)的目标函数进行优化, 得到优化结果如图 4 所示。

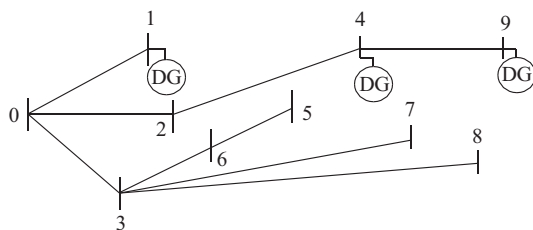


图4 最终优化结果

分布式电源安装在节点 1, 4 和 9, 容量分别为 200 kV·A, 300 kV·A 和 300 kV·A, 优化结果为 732.928 万元, 其中网络损耗为 0.109 1 MW, 对该方案进行评估, 最终网络结构评价结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 目前所选的网络在 65.99% 的程

度上供电良好, 在 24.68% 的程度上供电一般, 在 9.33% 的程度上供电不好。

表 2 最终网络结构评价结果

评价指标	良好	一般	不好
线路负载率	0.361 1	0.444 4	0.157 4
电压质量	0.907 4	0.083 3	0.027 8
网络损耗	0.814 8	0.111 1	0.074 1
综合评价	0.659 9	0.246 8	0.093 3

综合表 1 和表 2 数据, 优化前系统在 18.68% 程度上无法正常运行, 优化后系统在 9.33% 程度上无法正常运行, 分布式电源对配电网运行的不良影响明显地减小了。

4 结束语

纯粹以年费用最小为目标对网络进行优化可以得到费用上具有优势的方案, 但在实际应用中存在很多不合理的地方, 只有充分协调各优化目标, 才更具实际意义。

本文以系统年费用最小和网络损耗最小为目标, 得到规划的预选方案, 建立了基于模糊理论的电网供电能力评估模型, 针对 DG 接入电网后带来的影响, 确定各项评估指标, 最终得到预选方案评价的量化结果。通过评估结果对目标函数进行优化, 再次对网络进行优化规划, 得到新的规划方案, 从算例可以看出, 在费用上 2 个方案相差不多, 但是新的方案在良好运行状态上要优于原有方案。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 丁明, 王敏. 分布式发电技术[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(7): 31-36.
- [3] 王敏, 丁明. 含分布式电源的配电系统规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(6): 5-8.
- [4] 钱科军, 袁越, 石晓丹, 等. 分布式发电的环境效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(29): 11-15.
- [5] 刘杨华, 吴政球, 涂有庆, 等. 分布式发电及其并网技术综述[J]. 电网技术, 2008, 32(15): 71-76.
- [6] 欧阳武, 程浩忠, 张秀彬, 等. 考虑分布式电源调峰的配电网规划[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(22): 12-15.
- [7] 王成山, 陈恺, 谢莹华, 等. 配电网扩展规划中分布式电源的选址和定容[J]. 电工技术学报, 2008, 23(2): 103-108.
- [8] 刘波, 张焰. 改进粒子群优化算法在分布式电源选址定容中的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(12): 50-54.
- [9] 陈恺. 分布式电源优化规划[D]. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2006.
- [10] 曲晓峰. 配电网中考虑环保效益的分布式发电规划[D].

中心部位;

(3)试验过程时需穿连体服、布鞋,使用橡胶手电筒,铁芯内使用螺丝刀要登记,避免将金属物件遗留在发电机膛内;

(4)试验过程中 Chattock 电位计移动速度符合 ELCID 操作要求,且 Chattock 电位计尽量避免离开铁芯。

4 结束语

(1)ELCID 铁芯试验只需提供 4%的额定磁通量即可完成对故障铁芯的诊断,所需的励磁电源容量较小,容易配备和携带;

(2)励磁绕组使用的是 ELCID 专用励磁电缆,电缆本身已将 6 匝绕组集合在一起,接线时实际只需要绕一圈,接线简单;

(3)由于施加的电压较低,铁芯磁密较低,试验

操作安全方便,且不会使得故障点扩大;

(4)ELCID 铁芯试验灵敏度较高,且能够参考 ELCID 典型故障波形对铁芯深处故障点判断分析。

参考文献:

- [1] GB 50150—2006,电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].
- [2]NAMARA B M, ENG P. A Collection of Case Studies of ELCID Test [C]. Presented at Latin America Power 2000, 2000.
- [3]关建军,于庆斌,钟浩文.发电机定子铁芯 ELCID 试验分析与探讨[J].大电机技术,2005(5):13-17.
- [4]王劲松,吴宇辉.发电机定子铁芯片间短路故障诊断系统[J].华北电力技术,2004(2):34-37.

作者简介:

解兵(1979-),男,江苏张家港人,工程师,从事发电机、高压等试验研究方面的工作。

Generator Stator Iron-loss Tests Based on ELCID

XIE Bing

(Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract:The insulation fault occurred between different slices of the iron cores will seriously affect the operation of the generators since the iron core is one of the most important components. With the experiments carried out on the iron cores, the faults can be detected more early to avoid the deterioration of the issues. The fundamental and specific operation methods of ELCID (Electro-magnetic Core Imperfection Detector) are introduced in the paper, and the detailed precautions analyzed with several examples are also proposed. The iron-loss tests are proved to be feasible for the judgment of the condition of the iron cores.

Key words:generator; iron core; ELCID iron-loss tests

(上接第 32 页)

南京:河海大学硕士学位论文,2009.

- [11] LUIS F O,ANOTONIO P F,GARETH P H. Evaluating Distributed Generation Impacts with a Multiobjective Index [J]. IEEE Transaction on Power Delivery,2006,21 (3):1452-1458.
- [12] 高军彦.含分布式发电的配电网规划研究[D].北京:华北电力大学硕士学位论文,2009.

作者简介:

李伟伦(1977-),男,江苏南通人,工程师,研究方向为电网规划;桂淑华(1987-),女,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为电网规划;孙志刚(1977-),男,江苏南通人,工程师,研究方向为电网规划;卫志农(1962-),男,江苏江阴人,博士生导师,研究方向为电力系统运行、分析与控制和输配电自动化等。

Itribution Network Optimal Planning Considering Distributed Generators

LI Wei-lun¹, GUI Shu-hua², SUN Zhi-gang¹,WEI Zhi-nong²

(1.Nantong Power Supply company, Nantong 226006, China; 2.Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract:With the development of distributed generation (DG), planning of electric distribution system are confronted with new challenges. Considering of the increase of loads, an optimal planning model of distribution network is proposed to achieve multi-objectives which are consisted of minimum investment of DGs and transmission lines, and the minimum power loss of distribution network. Heuristic method is adapted to solve the problem by taking full advantage of distribution network's radial characteristics. And the impact on power system of DG is analyzed by the fuzzy evaluation algorithm. The objective function is optimized by introducing coordination coefficient. The results of test example prove the validity of the proposed model and algorithm.

Key words:distributed generation; distribution network planning; heuristic method; coordination coefficient