

微电网并网时的环保经济调度

侯国彦¹, 王 彪², 丁理杰², 陈向宜², 陈光堂³, 邱晓燕³

(1. 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072;

3. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:针对微电网中太阳能光伏发电、风力发电等分布式发电的特点,考虑到不同类型、容量的微电源所消耗的燃料、效率、运行和维护费用、微电网与主电网功率交互价格、有害气体的排放量不同以及太阳能光伏发电、风力发电的特殊性提出了一种综合考虑发电成本与排放成本的微电网环保经济调度的数学模型。对发电成本与排放成本的不同权重采用改进遗传算法对其进行数值求解,并通过算例验证了所建立的模型与优化算法的有效性与合理性。

关键词:微电网; 遗传算法; 发电成本; 排放成本

Abstract: According to the characteristics of distributed generation in microgrid, such as solar photovoltaic power generation and wind power generation, and considering the fuels, the efficiency, the operation and maintenance costs consumed by different micro power sources, the price of power between main grid and microgrid, the emission level of harmful gas, the particularity of solar photovoltaic power generation and wind power generation, a novel mathematical model of environmental - protection and economic dispatch of grid - connected microgrid is presented considering power generation cost and emission cost. Based on the calculation of the different weights of power generation cost and emission cost by genetic algorithm, the simulation results show the validity and rationality of the established model and the optimal algorithm.

Key words: microgrid; genetic algorithm; power generation cost; emission cost

中图分类号: TM734 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2011)05 - 0080 - 04

0 引言

微电网对分布式电源的有效利用及灵活、智能的控制特点,使其在解决电能质量、能源和环保等方面出现的问题时表现出极大的潜能,是许多国家未来若干年电力发展战略的重点之一^[1-4]。

微电网的调度除了可以借鉴传统高压电网的发电机组调度之外还有其自身独特的特点^[5-6]: ①分布式电源中的太阳能、风能等可再生能源是不可调的,而且不同季节、不同时段的外环境温度、日照强度、风力都有很大变化,因此太阳能光伏发电风力发电机组的输出功率随机性很大; ②由于太阳能光伏发电、风力发电的发电成本较低,而且几乎无温室气体排放,因此应优先安排其最大限度地发电; ③不同类型、容量的微电源所消耗的燃料、效率、运行和维护费用、温室气体的排放量均不同。

微电网的环保经济调度^[6-9]是指在满足负荷需求的条件下,合理有效地安排各台微电源的出力使得

整个微电网的发电成本、排放成本或总成本最低。

下面主要提出了微电网的环保经济调度模型,考虑了微电源的电力系统运行约束条件与负荷需求、微电源的燃料消耗及维护成本、微电网与主电网之间的购电及售电价格,以及对各种微电源排放的有害气体的处理费用。利用改进遗传算法对所建立的模型进行优化计算,通过实例验证了所建立的模型与优化算法的正确性与有效性。

1 微电网环保经济调度模型

对于风能发电与光伏发电系统,虽然其环境效益好,运行成本低,但是长期以来,其安装成本很高,使其综合经济效益无法与其他形式发电相竞争。同时,其受天气影响较大,不受人工调度。因而中国目前电力行业的管理方式是风能发电与光伏发电享受优先调度权和电量被全额收购的优惠。该文的研究也是以此为前提。

1.1 目标函数

$$\min F = \alpha C_{gen} + \beta C_{emission} \quad (1)$$

基金项目:四川省电力公司科技项目资助,四川省科技厅支撑项目(2011GZ0036)

式中,

$$C_{gen} = \sum_{i=1}^{T_1} (\sum_{i=1}^N (C_{f,i}(P_{i,t}) + M^i(P_{i,t})) + C_{buy,t}P_{buy,t} - C_{sell,t}P_{sell,t}) \quad (2)$$

$$C_{emission} = \sum_{i=1}^{T_1} (\sum_{k=1}^M 10^{-3} \alpha_k (\sum_{i=1}^N \beta_{i,k} P_{i,t} + \beta_{grid,k} P_{buy,t})) \quad (3)$$

其中 α β 分别表示经济运行成本所占的比例; C_{gen} 表示微电网的经济运行成本; $C_{emission}$ 环境排放处理费用; T_1 表示微电网的调度周期(取1天); N 表示可调度微电源的总数; $C_{f,i}(P_{i,t})$ 表示可调度微电源 i 能耗成本; $M^i(P_{i,t})$ 表示可调度微电源 i 的维护成本; $P_{buy,t}$ 表示微电网在 t 时刻从主网买进的功率; $P_{sell,t}$ 表示微电网在 t 时刻售出给主网的功率; $C_{buy,t}$ 表示微电网在 t 时刻从主网购电的价格; $C_{sell,t}$ 表示微电网在 t 时刻向主网售电的价格; k 表示污染物(CO_2, SO_2, NO_x 等)的编号; α_k 表示治理污染物 k 所需要的费用; $\beta_{i,k}$ 表示微电源 i 对应的各种污染物排放系数; $\beta_{grid,k}$ 表示主网对应的各种污染物排放系数。

1.2 约束条件

①功率平衡限制

$$\sum_{i=1}^N P_{i,t} + P_{w,t} + P_{s,t} + P_{batt,t} + P_{buy,t} - P_{sell,t} = P_{D,t} \quad (4)$$

其中 $P_{i,t}$ 表示在时段 t 的微电源 i (除风能发电机、光伏发电系统和储能装置) 的输出功率; $P_{w,t}$ 表示在时段 t 时风能发电机的输出功率; $P_{s,t}$ 表示在时段 t 时太阳能光伏发电系统的输出功率; $P_{D,t}$ 表示在 t 时段负荷的需求功率。

②发电机的运行限制

$$P_{Gut}^{min} \leq P_{Gut} \leq P_{Gut}^{max} \quad (5)$$

其中 P_{Gut}^{max} 、 P_{Gut}^{min} 分别表示微电源 i 的输出功率的上、下限。

③储能装置的限制^[5]

$$P_{d,i,t}^{min} \leq P_{d,i,t} \leq P_{d,i,t}^{max} \quad (6)$$

$$P_{c,i,t}^{min} \leq P_{c,i,t} \leq P_{c,i,t}^{max} \quad (7)$$

$$P_{i,t} = P_{d,i,t} - P_{c,i,t} \quad (8)$$

$$E_{i,t} = E_{i,t-1} + [\tau_i P_{c,i,t} (1-d) - d \frac{P_{d,i,t}}{\zeta_i}] t_L \quad (9)$$

$$E_{i,t}^{min} \leq E_{i,t} \leq E_{i,t}^{max} \quad (10)$$

式(6)~(10)中 $i=1, 2, \dots, N, N$ 表示储能装置的数量; $P_{d,i,t}$ 、 $P_{c,i,t}$ 分别表示蓄电池第 i 台储能装置 t 时段的放电功率和充电功率; $P_{d,i,t}^{max}$ 、 $P_{d,i,t}^{min}$ 、 $P_{c,i,t}^{max}$ 、 $P_{c,i,t}^{min}$ 分别表示第 i 台储能装置的放电功率的上下限与充电功率的上下限; $P_{i,t}$ 表示第 i 台储能装置 t 时段的向微电网注入的功率,当电池处于放电状态时,充电功

率 $P_{c,i,t} = 0$,当储能装置处于充电状态时,放电功率 $P_{d,i,t} = 0$; $E_{i,t}$ 表示第 i 台储能装置在 t 时段的容量; τ 、 ζ 为储能装置的充放电效率,一般小于1; t_L 为一段优化时间; d 为储能装置在时间段 t 内放电时间所占的比例,且有 $0 < d < 1$; $E_{i,t}^{max}$ 、 $E_{i,t}^{min}$ 表示第 i 台储能装置的上、下限,且有 $E_{i,t}^{min} > 0$ 。

④微电网与主网允许交互的功率约束

$$P_{buy,min} \leq P_{buy,t} \leq P_{buy,max} \quad (11)$$

$$P_{sell,min} \leq P_{sell,t} \leq P_{sell,max} \quad (12)$$

2 优化算法

针对所建立的微电网环保经济调度模型是一个多变量、带约束、非线性的组合优化问题,采用遗传算法来进行优化计算。

遗传算法(genetic algorithm,GA)是模拟生物进化过程的一种计算方法,起源于自然界生物优胜劣汰的进化规则,在一定的环境限制下,在父代种群的基础上,通过选择、交叉和变异等遗传操作产生下一代,只有适应性强的个体才能生存下来,并将优良特性往下一代传^[10-12]。所采用的改进遗传算法流程图如图1所示。

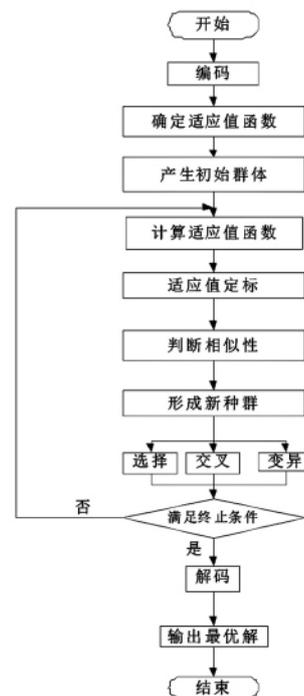


图1 改进遗传算法流程图

从图1中可以看出改进遗传算法的主要步骤如下。

Step 1: 编码产生初始种群,并将个体按适应度值大小排序;

Step 2: 求平均适应度值,以此作为阈值,选择适应度值大于平均适应度值的个体;

Step 3: 判断相似程度,以最高适应度值为模板,去除相似个体;

Step 4: 重复 Step 3 逐次以适应度值高的个体为模板,选择不同模板的个体组成群体;

Step 5: 判断是否达到群体规模。如果是,则进行下一步交叉、变异等遗传操作;否则重复 Step 4 如果不能得到足够的群体规模,则去除的个体按适应度值大小顺序顺次补足群体所缺数量;

Step 6: 判断是否满足结束要求。如果是,则结束,否则转到 Step 1。

3 算例分析

选取某地区的具体微电网设计案例进行分析,其结构如图2所示。整个微电网对外部电网来说是一个整体,通过一个静态开关和上级电网的变电站相联系。微电网内包括风力发电与光伏发电等可再生能源发电、微型燃气轮机清洁能源发电和传统的柴油机发电以及储能元件。该地区的日负荷需求以及一天中风电、光伏发电输出功率情况如图3所示。

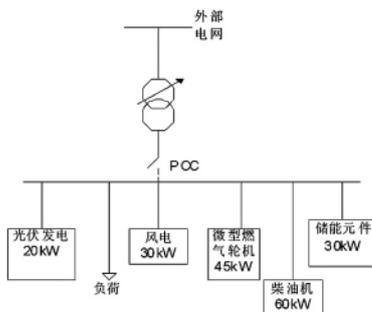


图2 某地方微电网系统结构

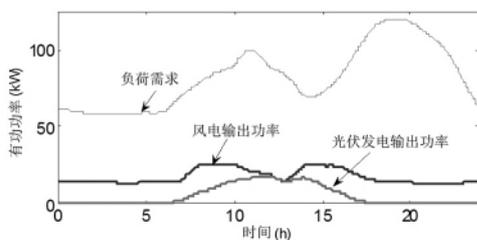


图3 日负荷需求及风电、光伏发电日输出功率

文中的算例实行三段式电价政策,峰段时间为10:00—14:00、19:00—22:00;平段时间为7:00—10:00、14:00—17:00和22:00—23:00;谷段时间为23:00—7:00。分时电价见表1所示。微电源污染物排放系数及其治理费用如表2所示。

表1 购电和售电电价

项目	价格/(元/kWh)		
	峰段	平段	谷段
购电	1.15	0.9	0.3
售电	1	0.75	0.2

表2 污染物治理费用及排放系数

污染物类型	治理费用/(元/kg)	污染物排放系数/(g/kWh)			
		微型燃气轮机	柴油机	主网	储能元件
CO ₂	0.210	724.6	649	889	0
SO ₂	14.842	0.004	0.206	1.8	0
NO _x	62.964	0.2	9.890	1.6	0

假设微电网与外部电网交互功率上限为15 kW,通过所提到的算法进行优化计算,得出 α 、 β 分别取不同值时微电源的出力情况,分别如图4、图5、图6所示。

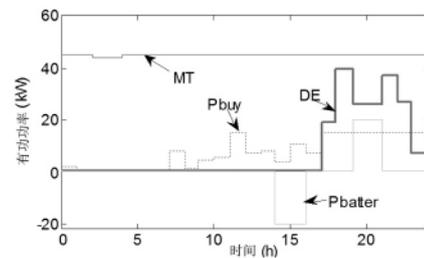


图4 当 $\alpha:\beta=0:1$ 时微电源出力情况

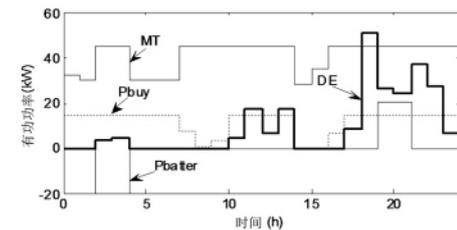


图5 当 $\alpha:\beta=1:1$ 时微电源出力情况

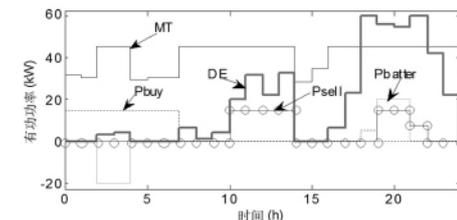


图6 当 $\alpha:\beta=1:0$ 时微电源出力情况

由表2得知,由于柴油机发电过程中放出的氮氧化物(NO_x)比较多,因此处理其排放的污染物费用较大。当 $\alpha:\beta=0:1$,即仅考虑了环境治理费用,因而优先考虑微型燃气轮机,同时由于储能元件在一个周期内充放电功率守恒的影响,其一周期内只能完成充放电一次。此时微电源的出力情况与图4相符。当 $\alpha:\beta=1:0$,即仅考虑运行成本情况,由于在谷段期间购电价格低于微电源的发电成本,故优先考虑购电,达上限后,剩余的负荷功率由微电源提供;在平段期间,

由于微电源的发电成本高于售电价格低于购电价格, 因而在此期间有微电源满足负荷的需求, 超出部分再购电; 在峰段期间, 由于微电源的发电成本低于售电价格, 因此在此期间, 各微电源按额定功率发电, 超出负荷的部分, 售出给主电网。此时微电源的出力情况与图 6 相符。当 $\alpha:\beta = 1:1$ 时, 即运行成本与环境治理成本以 1:1 加权, 通过优化算法计算后, 其微电源出力情况与图 5 相符。

4 结 论

主要研究了在满足负荷需求与分布式电源出力限制的前提下, 同时考虑发电成本与有害气体排放成本, 提出了微电网环保经济调度的数学模型。针对发电成本与排放成本的不同权重, 运用遗传算法进行优化调度, 并用实例验证了所建立模型的合理性。

参考文献

[1] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.

[2] 李胜, 张建华, 李春叶. 微网(Microgrid)的并网运行方式探讨[J]. 太原理工大学学报, 2009, 40(2): 184-187.

[3] Haziargyriou N, Asano H, Iravani R, et al. Microgrids[J]. IEEE, Power & Energy Magazine, 2007, 5(4): 78-94.

[4] 郑漳华, 艾 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.

[5] 陈达威, 朱桂萍. 微电网负荷优化分配[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(20): 45-49.

[6] 艾欣, 崔明勇, 雷之力. 基于混沌蚁群算法的微网环保经济调度[J]. 华北电力大学学报, 2009, 36(5): 2-6.

[7] Mohamed F A, Koivo H N. SvsLern Modeling and On-line Optimal Management of Microgrid Using Multi-objective Optimization [C]. International Conference on Clean Electrical Power, 2007(5): 148-153.

[8] Pudjianto D, Strbac G. Investigation of Regulatory Commercial Economic and Environmental Issues in Microgrid[J]. International Journal of Distributed Energy Resources, 2006, 2(3): 245-259.

[9] 丁明, 包敏, 吴红斌. 分布式功能系统的经济调度[J]. 电力科学与技术学, 2008, 23(1): 13-17.

[10] 周明, 孙树洞. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 18-31.

[11] 雷英杰, 张善文, 李续武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005: 11-30.

[12] 邱晓燕, 夏莉丽, 李兴源. 智能电网建设中分布式电源的规划[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 7-10.

作者简介:

王 彪(1985), 男, 硕士, 四川省电力科学研究院, 研究方向为电力系统运行与控制, 从事工作为电网分析;

陈光堂(1986), 男, 硕士研究生, 研究方向为微电网经济运行。

(收稿日期:2011-08-10)

(上接第 59 页)

据两个判据, 能够保证当系统某处出现静态电压稳定问题而电压值还较高时, 装置能及时地进行切负荷操作。切负荷轮次, 每轮切负荷量也完全按照现有的低压减载策略执行, 具有很强的可操作性。

“策略 2”同时考虑了低电压判据和裕度指标判据两个判据, 此策略中指标判据没有切负荷轮次以及总的切负荷量的限制, 这与实际情况是不相符的。做这个策略的目的是为了清楚地知道当某个站点现有安控装置 3 个基本轮的负荷量全被切掉后, 指标值还不能恢复 > 1.05 的情况下, 这个站点到底要切掉多少负荷才能使指标值恢复到 1.05 以上。

“策略 3”同时考虑了低电压判据和裕度指标判据两个判据, 按不少切除原则能保证一次性切除足够的负荷量。且切负荷轮次、每轮切负荷量完全按照现有的低压减载策略执行, 具有很强的可操作性。

2 结 论

对低压减载研究中常用的仿真方法及减负荷策略等进行了综述、对比及分析, 指出了各方法的优劣, 并对基于电压稳定裕度的低压减载方案及其工程实践进行了分析, 拓宽了当前工程中低压减载的思路和方法, 具有工程指导意义。

参考文献

[1] 周双喜, 朱凌志. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 王锡凡, 万方良, 杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[3] 李文沅, 余娟, 汪洋, 等. 通过辨识电网薄弱环节实时识别电网电压稳定性的方法[P]. 中国专利: 200710092710.1, 2008-02-06.

(收稿日期:2011-07-05)